ZUR WIRKUNG DES HÄUTUNGSHEMMSTOFFES DIMILIN^{R} UND DES PYRETHROIDES AMBUSH^{R} AUF BODENBEWOHNENDE COLLEMBOLEN UND ORIBATIDEN

Ursula Köhler

Diss
München
1984

ZUR WIRKUNG DES HÄUTUNGSHEMMSTOFFES DIMILIN^{R} UND DES PYRETHROIDES AMBUSH^{R} AUF BODENBEWOHNENDE COLLEMBOLEN UND ORIBATIDEN

DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DES DOKTORGRADES AN
DER FORSTWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT
DER LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

VORGELEGT VON
URSULA KÖHLER
MÜNCHEN 1983

I. Berichterstatter: Prof. Dr. W. Schwenke

II. Berichterstatter: Prof. Dr. K. Kreutzer

Tag der Promotion: 29.2.1984

DISSERTATIONS - UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2809090

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	LITERATURÜBERBLICK	4
2.1.	Dimilin	4
2.1.1.	Entwicklung	4
2.1.2.	Chemische und physikalische Eigenschaften	4
2.1.3.	Abbau im Boden	5
2.1.4.	Wirkungsweise	6
2.1.5.	Insektizide Eigenschaften	7
2.1.6.	Praktische Anwendung	8
2.1.7.	Wirkung auf Bodentiere	9
2.2.	Ambush	10
2.2.1.	Entwicklung	10
2.2.2.	Chemische und physikalische Eigenschaften	11
2.2.3.	Abbau im Boden	11
2.2.4.	Wirkungsweise	12
2.2.5.	Insektizide Eigenschaften	13
2.2.6.	Praktische Anwendung	13
2.2.7.	Wirkung auf Bodentiere	14
3.	LABORUNTERSUCHUNGEN	15
3.1.	Material und Methode	15
3.1.1.	Herkunft und Gewinnung des Tiermaterials	15
3.1.2.	Haltung und Züchtung	16
3.1.3.	Applikation	17
3.1.4.	Versuchsansätze und -ablauf	19
3.1.5.	Versuchsauswertung	19
3.2.	Ergebnisse	20
3.2.1.	Mortalität	20
3.2.1.1.	Artspezifische Mortalität	20
3.2.1.1.1.	Collembolen	20
3.2.1.1.2.	Oribatiden	33
3.2.1.2.	Altersspezifische Mortalität	36
3.2.1.3.	Einfluß der Temperatur	39

Seite

3.2.2. Ovizide Wirkung 46
3.2.3. Fertilität und Fekundität 51
3.2.3.1. Collembolen 51
3.2.3.2. Oribatiden 59
3.2.4. Repellenz 61

4. FREILANDUNTERSUCHUNGEN 64

4.1. Standörtliche Ausgangslage 64
4.2. Witterung 70
4.3. Applikation 71
4.3.1. Allgemeines 71
4.3.2. Hubschrauberapplikation 71
4.3.3. Bodenapplikation 72
4.4. Zur Quantifizierung und Persistenz des Dimilinniederschlages 72
4.4.1. Material und Methode 72
4.4.1.1. Erfassung von Makrotröpfchen 72
4.4.1.2. Erfassung von Mikrotröpfchen 73
4.4.1.3. Erfassung von Dimilinrückständen mittels Biotest 74
4.4.1.3.1. Modifizierter Biotest mit Musca domestica L. 74
4.4.1.3.2. Biotest mit Collembolen 76
4.4.2. Ergebnisse zur Quantifizierung 77
4.4.2.1. Verteilung des Sprühniederschlages im Bestand 77
4.4.2.2. Sprühbilder bei Applikation mit Hubschrauber bzw. Handsprühgerät 79
4.4.2.3. Mikrotröpfchen 81
4.4.3. Ergebnisse zur Persistenz 83
4.4.3.1. Persistenz auf dem Waldboden 83
4.4.3.2. Eindringvermögen in den Boden 86
4.4.3.3. Rückstände im Regenwasser 88
4.4.3.4. Rückstände im herbstlichen Abfall von Kronenmaterial 90
4.5. Zum direkten Nachweis von Dimilinschädigungen bei Collembolen 91
4.5.1. Material und Methode 91
4.5.2. Ergebnisse zu Mortalität und Populationsentwicklung 92

Seite

4.5.2.1. Mortalität von wildgefangenen Collembolen aus behandelten Versuchsflächen 92

4.5.2.1.1. Applikation mit Handsprühgerät 92

4.5.2.1.2. Applikation mit Hubschrauber 98

4.5.2.2. Populationsentwicklung gezüchteter Collembolen in behandelten Versuchsgefäßen 105

4.6. Zur längerfristigen Populationsentwicklung von Bodentieren in mit Dimilin und Ambush behandelten Probeflächen 111

4.6.1. Allgemeines 111

4.6.2. Material und Methode 111

4.6.2.1. Gewinnung des Tiermaterials 111

4.6.2.2. Aufarbeitung des Tiermaterials 113

4.6.2.3. Statistische Auswertung 114

4.6.3. Ergebnisse der Bodenprobenauswertung 119

4.6.3.1. Entwicklung der Besiedelungsdichte des Collembolen Isotomiella minor 119

4..6.3.2. Entwicklung der Besiedelungsdichte der Hornmilbe Hermannia gibba 122

4.6.4. Ergebnisse der Bodenfallenauswertung 125

5. DISKUSSION 130

6. ZUSAMMENFASSUNG 139

7. LITERATURVERZEICHNIS 145

8. ANHANG 153

1. EINLEITUNG

Infolge des Trockenjahres von 1976 bahnten sich örtlich Massenvermehrungen verschiedener forstschädlicher Insekten an, die in den Folgejahren umfangreiche Bekämpfungsmaßnahmen nach sich zogen. In den Jahren 1979 - 1982 wurden allein in Bayern über 14 000 ha Waldfläche aviotechnisch behandelt. Auf rund 13 000 ha kam dabei das biologisch wirkende Insektizid Dimilin zum Einsatz.

In einer am Lehrstuhl für angewandte Zoologie der Universität München angefertigten Dissertation (DOPPELREITER, 1978) war festgestellt worden, daß durch das als Häutungshemmstoff wirkende Insektizid auch verschiedene Collembolenarten, also bodenbildende Kleintiere, in Mitleidenschaft gezogen werden. Da die Versuchsanstellung jener Untersuchung jedoch nicht den bei Hubschrauberbekämpfungsaktionen üblichen Bedingungen entsprach - DOPPELREITER hatte Dimilin in einer sehr viel größeren Wassermenge mit einem Rückensprühgerät direkt auf den Waldboden ausgebracht - soll im Rahmen der hier vorgelegten Arbeit schwerpunktmäßig die Reaktion von Bodentieren auf Dimilin unter praxisnahen Voraussetzungen untersucht werden.

Insektizide aus der Gruppe der synthetischen Pyrethroide gewinnen im Forstschutz wegen ihrer geringen Warmblütertoxizität und ihrer rasanten Wirkung zunehmend an Bedeutung. Sie scheinen bei nicht rechtzeitig erkannter Todfraßgefahr durch Lepidopteren und Hymenopteren eine brauchbare Alternative etwa zu den Phosphorsäureestern darzustellen. Deshalb wurde das Pyrethroid Ambush - allerdings in geringerem Umfang - als Vergleichsmittel in die Untersuchungen einbezogen.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Hauptabschnitte:

Im ersten Teil sollten in Laborversuchen grundsätzliche Reaktionsmöglichkeiten der Versuchstiere nach Insektizidbehandlung (z. B. Mortalität, Fertilität) unter konstanten Bedingungen geklärt werden.

Im zweiten Teil galt es dagegen, in Freilanduntersuchungen einerseits herauszufinden, in welchem Umfang und für welche Dauer überhaupt mit einer Kontaminierung des Bodens zu rechnen ist, und andererseits, ob und inwiefern sich eine Hubschrauberapplikation auf Vertreter der Bodenmesofauna auswirkt.

Dem Leiter des Lehrstuhls für angewandte Zoologie, München, Herrn Professor Dr. W. Schwenke, bin ich für die Überlassung des Themas und Stellung eines Arbeitsplatzes sowie für die wichtigen und hilfreichen Diskussionen zu besonderem Dank verpflichtet. Herrn Professor Dr. M. Postner gilt mein Dank für wertvolle Literaturhinweise. Weiterhin möchte ich den Herren Dr. Dr. habil. W. Bäumler und Dr. Dr. habil. U. Skatulla für die vielen fachlichen Ratschläge und Anregungen sowie Frau G. Gembe für ihre Mithilfe vor allem bei der Gewinnung und Sichtung des Probematerials aus den Freilanduntersuchungen Dank sagen. Auch allen anderen Institutsangehörigen danke ich für stetige Hilfsbereitschaft. Mein Dank gilt außerdem: Herrn Dr. J. Bauchhenss von der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, München, für den Einblick in seine bodenzoologischen Arbeitsmethoden und seine Hilfe bei der Determination von Collembolen, Herrn Forstrat H. Dalhäuser von der Bayer. Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt für die Beschreibung der Bodenprofile in den Versuchsflächen, Herrn Dr. H. Pruscha vom mathematischen Institut der Universität München für die Beratung und Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Freilanduntersuchungen sowie dem

Forstamt Ebersberg und vor allem dem Leiter der Forstdienststelle Hohenlinden, Herrn Ohland, für die Erlaubnis zur Durchführung der Freilandversuche und die Sicherung eines ungestörten Versuchsablaufes durch Verzicht auf Eingriffe in die Bestände.

An dieser Stelle möchte ich auch meinem Mann für die kritische Durchsicht des Manuskripts danken.

2. LITERATURÜBERBLICK

2.1. Dimilin

2.1.1. Entwicklung von Dimilin

Um 1970 wurden im Rahmen von Untersuchungen um das Herbizid Dichlobenil neuartige insektizide Wirkstoffe entdeckt (VAN DAALEN et al., 1972). Dabei handelte es sich um Harnstoffderivate, welche bei Insektenlarven Symptome hervorriefen, die völlig von jenen abwichen, die nach Behandlung mit den meisten herkömmlichen Präparaten auftraten. Das Absterben der Tiere stand stets mit dem Häutungsprozeß in Zusammenhang. WELLINGA et al. (1973 a, 1973 b) testeten eine große Anzahl von strukturanalogen Verbindungen hinsichtlich ihrer larviziden Wirkung auf Aedes aegypti L., Pieris brassicae L. und Leptinotarsa decemlineata SAY. Darunter erwies sich Diflubenzuron, der Wirkstoff von Dimilin 25 WP als hochwirksam.

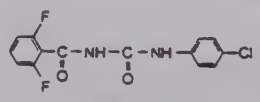
2.1.2. Chemische und physikalische Eigenschaften

Die folgenden chemischen und physikalischen Eigenschaften von Diflubenzuron entstammen, wenn nicht anders vermerkt, einer Produktinformation von PHILIPS-DUPHAR, Düsseldorf, und wurden teilweise nach PERKOW (1971/1982) ergänzt.

Chemische Bezeichnung : 1-(4-Chlorophenyl)-3
-(2,6-difluorbenzoyl)-harnstoff

Summenformel : $C_{14}H_9ClF_2N_2O_2$

Strukturformel :



Molekulargewicht	:	310,7
Löslichkeit	:	in Wasser: 0,2 ppm in Aceton: 0,65 g/100 ml mäßig löslich in polaren, sehr wenig löslich in unpolaren organischen Lösungsmitteln
physikalische Beschaffenheit	:	kristallin, farblos
Formulierung	:	grauweißes Spritzpulver mit 25 % Diflubenzuron (Korngröße < 5 µ) [1] und 75 % Dolomitmehl

2.1.3. Abbau im Boden

Der Abbauprozeß von Dimilin im Boden erfolgt durch mikrobiellen Eingriff an der C-N-Bindung. Als erste Abbauprodukte werden genannt: 2,6 Diflubenzoesäure, die in einer Halbwertszeit von weniger als vier Wochen decarboxyliert, sowie 4-Chlorphenyl-harnstoff, welcher innerhalb von 10 Wochen in Bound Residues umgewandelt wird.

Die Halbwertszeit kann in Torf, Ton und sandigem Lehm bei geringen Partikelgrößen von Dimilin (< 5 µ, entsprechend dem Handelsprodukt) weniger als zwei Wochen, bei größeren Partikeln (5 - 10 µ) 3 - 5 Monate betragen (PHILIPS-DUPHAR). Nach CARRINGER et al. (1975) ist die Adsorption von Diflubenzuron an organische Bodensubstanz sehr hoch. Dies wird mit der geringen Löslichkeit des Insektizids in Wasser erklärt. Bei Ca-gesättigtem Montmorillonit, einem Tonmineral, konnte hingegen keine Adsorption beobachtet werden.

BARTH (1981) stellte zum einen mit Hilfe eines Biotests mit Musca domestica fest, daß Dimilin in der organischen

---

[1] Nach MULDER et al. (1973) ist die insektizide Wirksamkeit von Diflubenzuron um so ausgeprägter, je kleiner die Teilchengröße ist.

Auflage von Waldboden absorbiert und nicht in tiefere Schichten verfrachtet wird. Zum anderen wies er auf einer Fläche, auf der eine Bodenapplikation in praxisüblicher Aufwandmenge erfolgt war, eine 1 - 2 Monate andauernde Persistenz nach.

2.1.4. Wirkungsweise

Zur Wirkungsweise des Insektizides liegen zahlreiche Untersuchungen vor. Bereits 1973 beschrieben MULDER und GIJSWIJT qualitative und quantitative histologische Veränderungen im endokutikulären Gewebe behandelter Larven von P. brassicae; zwischen Epidermis und Kutikula waren zahlreiche kugelförmige Gebilde von offensichtlich koaguliertem Material verstreut. Während sich bei unbehandelten Larven die Dicke der Endokutikula innerhalb von 48 Stunden mehr als verdoppelte, unterblieb dieses Wachstum bei behandelten Larven. SALAMA et al. (1976) beobachteten bei Lymantria monacha, Porthretia dispar und Boarmia bistortata ganz ähnliche Veränderungen der Endokutikula, während die Epi- und Exokutikula keine Schäden zeigten. Bei Raupen des Schwammspinners (P. dispar) war der Chitingehalt der Endokutikula nach der Behandlung etwa um 33 % reduziert, während der Lipidanteil erhöht war, was die Autoren zu der Vermutung führte, daß damit eine geringere Umwandlung der Glukose in Chitin zum Ausdruck kommt. Die neugebildete Kutikula war in ihrer Festigkeit herabgesetzt, so daß sie dem Turgor während der Häutung nicht standhalten konnte. Darüber hinaus konnte die alte Haut nicht abgestreift werden. BÄUMLER und SALAMA (1976) fanden bei P.-dispar-Larven kurz vor der Häutung einen plötzlichen Anstieg der Glukosekonzentration in der Hämolymphe und des Glykogengehaltes in der Kutikula. SAXENA und KUMAR (1981) vermuten, daß durch Diflubenzuron bereits am Anfang der Chitinbio-

synthesekette eine zumindest teilweise Blockierung bei der Umbildung von Glukose zu Fruktose-6-phosphat stattfindet. Im Integument von Nymphen der Heuschrecke Chrotogonus trachypterius war nach topikaler Applikation der Gehalt an Glukose und Glykogen ebenfalls erhöht, der von Fruktose dagegen verringert, während die nachfolgenden Stoffe in der Synthesekette unbeeinflußt blieben. Andere Autoren meinen, daß erst beim letzten Schritt der Chitinsynthese - bei der Polymerisation der N-Acetylglucosamine - die Blockierung eintritt (z. B. POST et al. 1974; MITSUI et al., 1981; TURNBULL und HOWELLS, 1982). COHEN und CASIDA (1982) stellten inzwischen bei in-vitro-Untersuchungen fest, daß Harnstoffderivate, darunter Diflubenzuron, das Chitin-Synthetase-System nicht beeinflussen können.

Bei subletalen Dosen an Dimilin kann zwar die Häutung durchgeführt werden, aber es kommt zu einer Entwicklungshemmung behandelter Larven (SKATULLA, 1975). FOGAL (1977) beobachtete bei solchen Larven Anhäufungen fibrinösen Materials im Mitteldarm.

2.1.5. Insektizide Eigenschaften

Dimilin wirkt bei wäßriger Ausbringung als reines Fraßgift. Nach oraler Aufnahme wird bei phytophagen Insektenlarven die Häutung bzw. Verpuppung unterdrückt (u. a. VAN DAALEN et al. 1972). Zwischen verschiedenen Arten konnten Empfindlichkeitsunterschiede in Höhe einiger Zehnerpotenzen festgestellt werden.

Ältere Stadien sind in der Regel weniger empfindlich als Junglarven (u. a. SKATULLA, 1975; GROSSCURT, 1978).

Dimilin wirkt nicht nur auf die Larvenstadien, sondern besitzt auch ovizide Eigenschaften. Frisch abgelegte Eier werden dabei stärker betroffen als solche, die schon einige Tage alt sind (ASCHER et al., 1980; INJAC, 1981; ELLIOT und ANDERSON,1982).

Ein Einfluß von Dimilin auf Imagines kann in einer Eizahlverminderung, Sterilisierung und Senkung der Eilarvenschlüpfquote zum Ausdruck kommen (ELLIS et al., 1974; HOLST, 1975; WEISS, 1977).

Einen Überblick über Nebenwirkungen von Dimilin auf das Waldökosystem gibt SCHWENKE (1979 a). Räuberische Insekten und adulte Parasiten werden durch Dimilin nicht beeinträchtigt (SKATULLA, 1976); unter günstigen Umständen werden sogar im Wirtskörper befindliche Parasitenlarven verschont (HARTINGER, 1976).

2.1.6. Praktische Anwendung

Nach dem Pflanzenschutzmittelverzeichnis für den Forst (BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1982) ist Dimilin gegen freifressende Schmetterlingsraupen und Afterraupen und gegen den Eichenwickler im jüngsten Larvenstadium zur Ausbringung mit Bodengeräten und Luftfahrzeugen in einer Aufwandsmenge von 300 g/ha zugelassen.

Dimilin ist als nicht bienengefährlich eingestuft.

Wegen seiner geringen Warmblütertoxizität - bei Maus und Ratte beträgt die akute LD_{50} nach oraler Verabreichung 1000 mg/kg Körpergewicht (PHILIPS-DUPHAR) - ist es mit keiner Gefahrenbezeichnung versehen.

2.1.7. Wirkung auf Bodentiere

Im Vergleich zu den zahlreichen Untersuchungen über die insektizide Wirkung auf land- und forstwirtschaftliche Schädlinge haben sich nur sehr wenige Autoren mit möglichen Nebenwirkungen von Dimilin auf die Bodenfauna beschäftigt.

Die Untersuchungen DOPPELREITERS (1978) wurden bereits in der Einleitung erwähnt. In Labor- und Freilanduntersuchungen war festgestellt worden, daß Waldcollembolen gegenüber Dimilin beträchtliche Toleranzunterschiede aufweisen. Vor allem der Collembole Isotomiella minor, der innerhalb des Artenspektrums der Collembolen des im Ebersberger Forst gelegenen Untersuchungsareales den höchsten Dominanzgrad mit 32 % aufwies, wurde durch eine direkte Bodenapplikation stark und nachhaltig geschädigt. Die Verminderung empfindlicher Collembolenarten führte zu einer Änderung der Dominanzverhältnisse zugunsten der nicht geschädigten Arten.

WINTER (1979) beschäftigte sich mit Auswirkungen einer aviotechnischen Bekämpfung gegen Diprion pini mit Dimilin auf Insekten und Spinnen der Bodenoberfläche in Kiefernwäldern. Drei Wochen nach Behandlung war ein deutlicher Rückgang der Individuendichte aller mit Bodenfallen und Photoeklektoren erfaßten Arthropoden festzustellen, der vor allem auf Schädigungen von phytophagen Thrips- und Schmetterlingsarten beruhte. Schlupfwespen, Brack- und Erzwespen, Käfer, Ameisen, Pflanzensauger, Fliegen, Mücken und Spinnen werden nach diesen Untersuchungen nicht beeinträchtigt. Eine Auswertung von Collembolen und Milben wurde nicht durchgeführt. Sieben Wochen nach Applikation war die Gesamtindividuenzahl in der behandelten Fläche gegenüber der Kontrollfläche nicht mehr absolut, aber unter Berücksichtigung der Ausgangsdichte vor der Bekämpfung relativ erniedrigt.

Über nematizide Eigenschaften von Dimilin berichtet SALEM (1979). Er führt eine Reduktion von Wurzelnematoden in einem Maisfeld auf die Behandlung mit Dimilin zurück.

Nebenwirkungen von Dimilin auf bodenbewohnende Milben eines Gurkenfeldes wurden in Ägypten untersucht. Dabei wurde bereits zwei Tage nach Applikation ein drastischer Rückgang der Milbenpopulation beobachtet, z. B. bei Oribatiden eine Verringerung um 47 % gegenüber der Kontrollfläche (RADWAN und ABO-KORAH, 1979).

2.2. Ambush

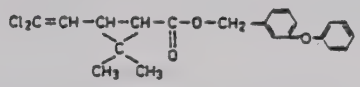
2.2.1. Entwicklung von Ambush

Pyrethrine sind Inhaltsstoffe aus den Blüten verschiedener Chrysanthemenarten, deren insektizide Eigenschaften seit langem im Vorratsschutz und Hygienebereich genutzt werden. Die für Warmblüter praktisch ungiftigen Substanzen erwiesen sich jedoch für eine Schädlingsbekämpfung im Freiland wegen ihrer geringen Stabilität gegenüber atmosphärischen Einflüssen als nicht geeignet. Seit es gelungen war, synthetische Pyrethroide herzustellen, die sich als photostabil und von noch größerer insektizider Wirksamkeit erwiesen, fanden diese Stoffe in der Land- und Forstwirtschaft immer größere Beachtung. Bis zum Jahr 1980 betrug ihr Anteil auf dem Weltinsektizidmarkt 30 % (NAUMANN, 1981). Permethrin, der Wirk-

stoff des Präparates Ambush, stellt eines dieser neuartigen Pyrethroide dar.

2.2.2. Chemische und physikalische Eigenschaften

Die folgenden chemischen und physikalischen Eigenschaften von Permethrin entstammen - wenn nicht anders vermerkt - einer Produktinformation von ICI, dem Hersteller von Ambush.

Chemische Bezeichnung	:	3-Phenoxybenzyl (±) cis, trans 3-(2,2-Dichlorvinyl)-2,2-Dimethyl-cyclopropan-1-Carboxylat
Summenformel	:	$C_{21}H_{20}O_3Cl_2$
Strukturformel	:	
Molekulargewicht	:	391,28
Isomerengemisch	:	40 % cis : 60 % trans
Löslichkeit	:	in Wasser ca. 0,2 ppm; mischbar mit den meisten organischen Lösungsmitteln
physikalische Beschaffenheit	:	hellbraune Flüssigkeit
Formulierung:	:	Emulsionskonzentrat mit 250 g Permethrin/l

2.2.3. Abbau im Boden

Permethrin unterliegt im Boden einem raschen Abbau, wobei das trans-Isomer schneller als das cis-Isomer abgebaut wird. Bei diesem Prozeß scheinen Mikroorganismen beteiligt

zu sein. Durch Hydrolyse entstehen Dichlorvinylsäure und 3-Phenoxybenzylalkohol als erste Abbauprodukte, die unter Entwicklung von CO_2 weiter metabolisiert werden (KAUFMANN und HAYNES,1977). Nach ELLIOTT et al.(1978) werden Pyrethroide aufgrund ihres lipophilen Charakters in den meisten Böden adsorbiert, so daß eine Auswaschung nicht stattfindet.

Der Hersteller von Ambush gibt eine Halbwertszeit von weniger als vier Wochen an. HARRIS und TURNBULL (1978) stellten fest, daß die insektizide Wirkung im Boden von der Bodenfeuchtigkeit, der Bodenart und der Temperatur abhängig ist. In feuchtem Sand war die Aktivität von Permethrin höher als in trockenem, in Sandboden größer als in organischem Boden (Mist), aber im Gegensatz zu den meisten anderen Insektiziden, bei hohen Temperaturen niedriger als bei tiefen. In Persistenzversuchen war Permethrin in feuchtem Sandboden nach fünf Wochen zur Hälfte abgebaut, nach 48 Wochen waren noch 17 % der applizierten Menge vorhanden (HARRIS et al., 1981). Nach Ansicht der Autoren könnte diese lange Persistenz mit einer relativ hohen Ausbringungsmenge an Insektizid erklärt werden.

2.2.4. Wirkungsweise

Nach NARAHASHI (1981) verlangsamen Pyrethroide - ebenso wie DDT - die Öffnungskinetik der Natriumkanäle der Nervenmembranen und lösen somit Vergiftungssymptome des Nerven- und Muskelsystems aus. Die Fähigkeit zu diesen Veränderungen ist jedoch bei den optischen Isomeren der Pyrethroide sehr unterschiedlich ausgeprägt.

Pyrethroide wirken als Kontakt- und Fraßgifte (PERKOW, 1971/1982). Sie besitzen im allgemeinen eine rasche Anfangswirkung, indem sie bei behandelten Insekten nach einem aus-

geprägten Erregungsstadium eine Inkoordination der Bewegungsabläufe und teilweise Lähmung hervorrufen. Bei subletalen Dosen erfolgt eine Erholung der Tiere von diesem „Knock-down"-Effekt über eine enzymatische Entgiftung. Bei höheren Dosen bzw. bei Zusatz von Synergisten, die eine enzymatische Entgiftung verzögern, führt die Behandlung schließlich zum Tod (FUCHS und SCHRÖDER,1977).

2.2.5. Insektizide Eigenschaften

Permethrin besitzt adultizide, larvizide und ovizide Eigenschaften (PERKOW, 1971/1982). Bei subletalen Konzentrationen wurde fraßabschreckende Wirkung (u. a. TAN, 1981), Entwicklungsverzögerung (ROSS und BROWN, 1982) aber auch die Verhinderung der Eiablage durch adulte Weibchen beobachtet (ITO und HIROSE, 1981).

Aufgrund der Breitenwirkung werden nicht allein die zu bekämpfenden Schädlinge, sondern auch indifferente und nützliche Arten betroffen. Wie Untersuchungen zeigen, ist jedoch eine gewisse Selektivität gegenüber Parasiten zu finden. So reagierten Schlupfwespen auf Permethrin wesentlich weniger empfindlich als die Wirtstiere (u. a. HAGLEY et al., 1981).

2.2.6. Praktische Anwendung

Nach dem Pflanzenschutzmittelverzeichnis der Biologischen Bundesanstalt ist Ambush für einen Einsatz gegen Schädlinge im Ackerbau, Gemüsebau, Hopfen, Obstbau, Weinbau und Zierpflanzenbau amtlich anerkannt; für den Forst hat Ambush keine amtliche Zulassung. Dagegen ist das permethrinhaltige

Präparat Talcord (Wirkstoffgehalt 100 g/l) in einer Aufwandmenge von 300 ml/ha gegen blatt- und nadelfressende Käfer zur Ausbringung mit Bodengeräten zugelassen. Dieses Mittel hat aufgrund der geringen Warmblütertoxizität von Permethrin - die akute orale LD_{50} für Ratte, Maus, Meerschweinchen sowie die dermale LD_{50} für Ratte wird mit etwa 4000 mg/kg angegeben (PERKOW, 1971/1982) - keine Gefahrenbezeichnung. Allerdings hat es Auflagen zum Schutze der Bienen durch seine Einstufung als bienengefährlich. Wegen seiner Fischgiftigkeit - die LC_{50} für Regenbogenforelle beträgt 5,4 µl/Liter (48 Stunden) - darf es nicht in unmittelbarer Nähe von Gewässern angewendet werden.

2.2.7. Wirkung auf Bodentiere

Laut Produktinformation von Ambush (ICI, PLANT-PROTECTION DIVISION) zeigte sich selbst nach Applikation von 1,5 kg Wirkstoff/ha keine Wirkung gegenüber Regenwürmern und Bodenmikroarthropoden. Bei einer Aufwandmenge von 5 kg/ha wurden nur einige wenige Arten (die nicht benannt sind) in Mitleidenschaft gezogen. Nematoden und Mollusken werden durch Ambush nicht geschädigt.

KREUTZWEISER (1982) bestätigt diese Schonung von Bodentieren beim Einsatz von Permethrin gegen Forstschädlinge.

3. LABORUNTERSUCHUNGEN

3.1. Material und Methode

3.1.1. Herkunft und Gewinnung des Tiermaterials

Die verschiedenen Arten stammen aus den Freilandversuchsflächen im Ebersberger Forst. Diese Flächen werden unter 4.1. ausführlich beschrieben. Lediglich bei Folsomia candida (WILLEM) handelt es sich um einen Collembolen, der aus einem Blumentopf isoliert wurde. Diese Art wurde teilweise in die Untersuchungen einbezogen, da sie zum einen leicht zu züchten war und zum anderen wegen ihrer parthenogenetischen Vermehrung für spezielle Fragestellungen zur Beeinflussung der Fertilität durch Dimilin und Ambush geeignet erschien.

Die Auslese der Bodentiere erfolgte sowohl durch ein dynamisches Verfahren, modifiziert nach BERLESE (1905) und TULLGREN (1918), als auch manuell mit Hilfe eines Exhaustors (SPAHR, 1981).

Das dynamische Ausleseverfahren beruht auf dem positiv hygrotaktischen bzw. negativ phototaktischen Verhalten der Bodentiere. Streu- oder Bodenproben werden hierfür auf Trichter mit Einsatzsieben einer Maschenweite von 1,5 mm verteilt und mit Schirmlampen von oben bestrahlt. Die aus den austrocknenden Proben nach unten in feuchteres und dunkleres Milieu wandernden Tiere fallen durch das Sieb und rutschen über die steile Trichterwand in ein Auffanggefäß.

Zur Gewinnung von Lebendmaterial für die Laborversuche fanden große (Ø = 25 cm), ca. 1 l Streu fassende Kunststofftrichter Verwendung, die in Auffangbehälter mit feuchtgehaltenem Gipsboden mündeten. Als Licht- und Wärmequelle dienten 20-Watt-Glühbirnen.

3.1.2. Haltung und Züchtung

Versuchsgefäße waren Polystyroldosen (Grundfläche = 32 cm^2, entsprechend einem Durchmesser von 6,4 cm; h = 6,4 cm). Der Boden der Dosen wurde herausgetrennt und durch eine 2 cm hohe Gips-Aktivkohleschicht (9 : 1) ersetzt. Ein runder Ausschnitt im Dosendeckel war mit feinmaschiger, luftdurchlässiger Gaze abgedeckt.

Durch Aufbewahrung der Gefäße in einem Klimaschrank (Firma Memmert) bei 18 °C und tägliches Wässern des Gipssubstrates konnten die für die Versuche erforderlichen konstanten Bedingungen hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeit hergestellt werden.

Zur Ernährung der Versuchstiere wurden verschiedene Kunstfuttersorten (SPAHR, 1981; BIERINGER, 1969; VON TÖRNE, 1967) erprobt; dabei stellte sich heraus, daß Weizenkeime von den meisten Collembolenarten gut angenommen wurden. Bei Folsomia candida erfolgte die Züchtung und Haltung während der Versuchsdurchführung auf dieser Nahrungsgrundlage. Für die speziellen Laborversuche (Ermittlung der LC_{50}, t_{50} etc.) wurde bei den übrigen Collembolenarten allerdings Naturnahrung in Form einiger Partikel Fichtenstreu, im Falle der Hornmilbe Hermannia gibba (KOCH) einige mit Grünalgen bewachsene Fichtenrindenstücke gewählt. So war eine den Feldbedingungen weitgehend angenäherte Ernährung gewährleistet. Ein wichtiger Vorteil dieser Naturnahrung gegenüber Kunstfutter war darüber hinaus, daß störendes Schimmelwachstum unterblieb.

Massenzuchten der Collembolenarten Isotomiella minor (SCHÄFFER), Tomocerus flavescens (TULLBERG), Tomocerus minor (BOURLET) erfolgten in mit Gazetüchern abgedeckten Plastikbechern (Ø = 10 cm, h = 11 cm), angefüllt mit gewachsenem, etwas bemoosten (Polytrichum formosum) Boden, aus dem zuvor

mit Hilfe der Ausleseapparatur die vorhandenen Bodentiere ausgetrieben worden waren. In das etwa bis zur Feldkapazität wieder angefeuchtete Substrat wurden 30 adulte Collembolen eingesetzt. Zweimal wöchentlich wurde gravimetrisch die verdunstete Flüssigkeit ersetzt. Nach etwa 5 Wochen wurden die Jungtiere aus dem Substrat ausgetrieben und mit Hilfe eines Exhaustors in Gipsgefäße umgesetzt, wo sie mit Weizenkeimen oder Naturnahrung weiterernährt wurden. Da die Embryonalentwicklung je nach Art 2 - 3 Wochen betrug, wurden auf diese Weise 0 - 2 bzw. 0 - 3 Wochen alte Jungtiere erhalten, die durch Größensortierung altersmäßig gut eingestuft werden konnten.

Während die Massenzucht von Collembolen recht gut gelang, erwies sich die Züchtung von Oribatiden als sehr viel schwieriger, weshalb die Versuchstiere meist nur kurzfristigen Haltungen im Labor entstammten.

3.1.3. Applikation

Die Applikation der Insektizide erfolgte durch einfaches Aufpipettieren der Dimilinsuspensionen bzw. Ambushemulsionen auf die bereits gewässerten Gipsböden der Versuchsgefäße. So wurde eine flächige Benetzung des Bodens einschließlich der darauf verteilten Nahrungspartikel erreicht, ohne daß damit ein sofortiges Einziehen des Wirkstoffes durch die Kapillarität des Gipssubstrates verbunden gewesen wäre. Für die gleichmäßige Benetzung der Gipsböden (Grundfläche = 32 cm^2) erwies sich ein Volumen von 0,8 ml Flüssigkeit als günstig.

Als Orientierungsgröße für die im folgenden getesteten Konzentrationen seien die den Flächenaufwandmengen bei praktischer Bekämpfung entsprechenden Laborkonzentrationen her-

geleitet: Bei einer Ausbringung von 300 g Dimilin/ha ergibt sich eine Aufwandmenge von 0,06 mg/32 cm^2, die in 0,8 ml Wasser verteilt eine Konzentration von 120 ppm ausmacht; bei 100 ml Ambush/ha errechnet sich dementsprechend eine Konzentration von 40 ppm.

Auf eine notwendige Einschränkung des eben angestellten Vergleichs sei allerdings schon an dieser Stelle ausdrücklich hingewiesen: Die einfache Gegenüberstellung von im Labor einerseits und mit dem Hubschrauber andererseits applizierten Aufwandmengen bedeutet nicht, daß gleiche Flächendosen in Labor und Freiland gleiche Wirkungen erzielen müssen. Im Labor wird durch die wesentlich höhere Wassermenge eine flächendeckende, gleichmäßige Benetzung erreicht, während bei aviotechnischer Ausbringung durch die einzelnen Sprühtröpfchen eine punktuelle Konzentrierung eines Präparats gegeben ist.

Bei einem Versuch mit Ambush wurden die angefeuchteten Versuchsgefäße mit trockenem Filterpapier ausgelegt, das wie oben beschrieben behandelt wurde.

Die Repellenzuntersuchungen wurden auf Filterpapierscheiben (Ø = 8 cm) vorgenommen, die zunächst in vier gleichgroße Sektoren zerschnitten und wieder zusammengeklebt worden waren. Durch den Klebstoff (Uhu) war die Kapillarität des Filterpapiers an den Sektorengrenzen unterbrochen. Die so vorbereiteten Scheiben wurden in Polystyroldosen (Ø = 8 cm, ohne Gipssubstrat) eingepaßt. Auf jeweils zwei gegenüberliegenden Sektoren wurde dann 0,4 ml Dimilinsuspension (120 ppm) bzw. Ambushemulsion (40 ppm), auf den verbleibenden beiden Sektoren Wasser aufpipettiert. Die Behandlung entsprach der doppelten praxisüblichen Flächenaufwandmenge an Wirkstoff, da die zweifache Wassermenge als bei einer Applikation direkt auf das Gipssubstrat benötigt wurde, um das Filterpapier gleichmäßig zu durchfeuchten.

3.1.4. Versuchsansätze und -ablauf

Die in der Regel aus den Massenzuchten stammenden Versuchstiere wurden vorsichtig in die präparierten Gefäße eingesetzt, Collembolen mit Hilfe eines Exhaustors, Oribatiden mit einem feinen Haarpinsel. Die meist täglichen Kontrollen der Versuche erfolgten unter einer Stereolupe (Firma Wild) bei 12- bis 25facher Vergrößerung, wobei - je nach Zielsetzung des Versuches und soweit dies ohne den Versuchsablauf zu stören möglich war - Anzahl toter Tiere mit und ohne Dimilinschaden, Anzahl abgelegter Eier und Anzahl geschlüpfter Jungtiere protokolliert wurden. Das Kriterium Anzahl erfolgter Häutungen kann nicht hinreichend erfaßt werden, da einige Collembolenarten, darunter T. flavescens, üblicherweise nach stattgefundener Häutung ihre Exuvie verzehren. Die einzelnen Versuche wurden mindestens zwei Wochen beobachtet, meist jedoch drei bis fünf Wochen, wenn in der unbehandelten Kontrolle keine nennenswerte Mortalität auftrat. Die Untersuchungen zur Fertilitätsbeeinflussung der Insektizide erstreckten sich teilweise über sieben Wochen.

3.1.5. Versuchsauswertung

Die letale Konzentration, bei der 50 % der Versuchstiere innerhalb eines bestimmten Zeitraumes absterben (LC_{50}) charakterisiert die Empfindlichkeit eines Versuchstierkollektivs gegenüber einem Präparat. Die mittlere Absterbezeit (t_{50}) stellt ein Maß für die Wirkungsgeschwindigkeit bei einer bestimmten Konzentration dar. Beide Größen wurden zusammen mit den zugehörigen Regressionsgleichungen mit Hilfe der Probit-Regressionsanalyse (EDV-Programm BMD O 3 S) errechnet, wobei die Mortalität der 0-Probe Berücksichtigung fand. Mit einem EDV-Zusatzprogramm wurden die Vertrauensbereiche der LC_{50}

bzw. t_{50} sowie des Regressionskoeffizienten ß ermittelt.

Bei der durchgeführten Probitregressionsanalyse werden die Werte auf der Abszisse (Konzentration bzw. Zeit) logarithmisch angegeben, die prozentuale Reaktion (z. B. Mortalität) wird in Probits transformiert und auf der Ordinate aufgetragen. Auf diese Weise erfolgt die Umwandlung der mathematisch schwieriger darzustellenden sigmoiden Reaktionskurve in eine Gerade mit der allgemeinen Geradengleichung $y = \alpha + \beta x$.

Bei den Temperaturversuchen erfolgte die Berechnung der Wirkungsgrade nach der Formel von ABBOTT (1925)

$$WG = \frac{u - b}{u} \times 100$$

(WG = Wirkungsgrad, u = Überlebensrate des unbehandelten Kollektives, b = Überlebensrate des behandelten Kollektives)

3.2. Ergebnisse

3.2.1. Mortalität

3.2.1.1. Artspezifische Mortalität

3.2.1.1.1. Collembolen

Collembolen gehören zu den epimetabolen Insekten, die auch nach der Geschlechtsreife noch zahlreiche überzählige Imaginalhäutungen vollziehen (WEBER und WEIDENER, 1974). Da eine Metamorphose nicht ausgeprägt ist, gleichen Jungtiere in ihrem Aussehen bereits den erwachsenen Collembolen, wodurch ein Auseinanderhalten von Jung- und Alttieren vor allem im Übergangsstadium - wenn die Größe nicht mehr als Unterscheidungshilfe

herangezogen werden kann - erschwert wird. Um etwaige altersspezifische Wirkungsunterschiede zu umgehen, wurden für einen Empfindlichkeitsvergleich verschiedener Collembolenarten eben geschlechtsreif werdende Tiere (Beginn der Eiablage in den Zuchtgefäßen) herangezogen.

Nach den Ergebnissen von Voruntersuchungen wurden für die auf Dimilin und Ambush reagierenden Arten die Konzentrationen so gewählt, daß die auftretenden Sterberaten möglichst zwischen 3 und 97 % lagen, einem Bereich, der auch für die Durchführung einer Probitregressionsanalyse sinnvoll ist.

Es stellte sich heraus, daß von sieben getesteten Collembolenarten nur vier auf Dimilin reagierten. Bei Lepidocyrtus lanuginosus (GMELIN), Orchesella villosa (GEOFFROY) und Orchesella flavescens (BOURLET) konnte eine letale Wirkung selbst in Konzentrationen über 0,1 % nicht festgestellt werden. Bei O. flavescens bewirkte eine 10prozentige Applikation allerdings ein Verbacken der als Nahrung vorgesehenen Weizenkeime, so daß die Futterflocken schlechter von den Collembolen aufgenommen werden konnten. Es fand sich auch wesentlich weniger Kot als in der 0-Probe. Die nach 14 Tagen beobachtete Mortalität von 27 % muß wohl nicht auf Häutungsstörungen, sondern auf ein Verhungern der Tiere zurückgeführt werden.

Empfindlich reagierten auf Dimilin Isotomiella minor (SCHÄFFER), Folsomia candida (WILLEM), Tomocerus flavescens (TULLBERG), und Tomocerus minor (LUBBOCK). Für diese vier Arten wurden Regressionsgleichungen errechnet (Tab. 1). Die LC_{50}-Werte, deren 95prozentige Vertrauensbereiche sich nicht überlappten, wurden nach WEBER (1967) durch folgenden mathematischen Ausdruck verglichen: $10^{m_1 - m_2}$; mit m_1 und m_2 werden die logarithmischen LC_{50}-Werte der zu vergleichenden Arten bezeichnet.

Tab. 1: Behandlung mit Dimilin: Zusammenstellung der Regressionsgeradengleichungen, LC_{50}- Werte und Regressionskoeffizienten ß mit 95prozentigen Vertrauensbereichen sowie ein Empfindlichkeitsvergleich der 4 Arten untereinander (in der linken Spalte sind die Arten mit der jeweils größten Empfindlichkeit aufgetragen).

Art	Geradengleichung	LC_{50} (95% VB) in ppm	ß (95% VB)	Vergleich der Empfindlichkeit mit F. candida	T. flavenscens	T. minor
I. minor	y=6,050 + 0,704 x	0,028 (0,016 - 0,051)	0,704 (0,525 - 0,883)	19,2	52,9	289,4
F. candida	y=5,669 + 2,522 x	0,543 (0,400 - 0,737)	2,522 (1,597 - 3,447)		1,9	15,1
T.flavescens	y=4,693 + 1,750 x	1,498 (0,997 - 2,250)	1,750 (1,141 - 2,359)			5,5
T. minor	y=4,180 + 0,898 x	8,187 (4,974 -13,477)	0,898 (0,646 - 1,150)			

Abb. 1 gibt den Verlauf der vier Regressionsgeraden (mit 95prozentigen Vertrauensbereichen der LC_{50}) wieder.

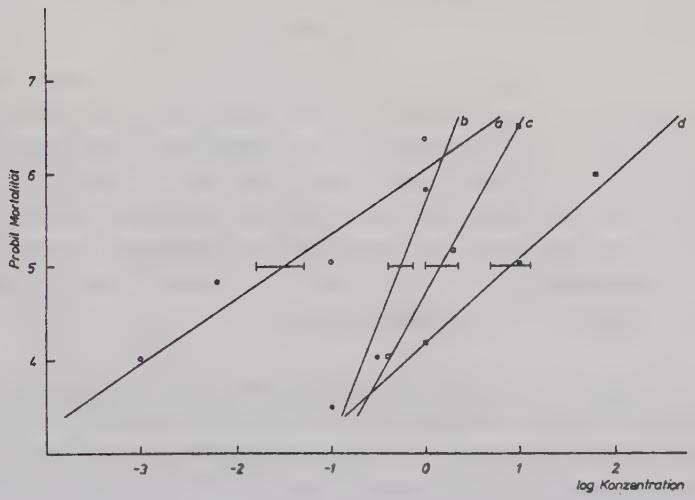


Abb. 1

Vergleich verschiedener Collembolenarten hinsichtlich der LC_{50} und des Mortalitätsverlaufes nach Behandlung mit Dimilin
(a = I. minor, b = F. candida, c = T. flavescens, d = T. minor)

Die vier gegen Dimilin empfindlichen Collembolen zeigten eine ganz unterschiedliche Empfindlichkeit; im Extremfall reagierte T. minor 289mal weniger sensibel als I. minor. I. minor zeigte bereits im ppb-Bereich Dimilinschäden, einem Bereich, der einige Zehnerpotenzen niedriger liegt als die im Freiland maximal mögliche Flächenkonzentration von 120 ppm (siehe 3.1.3.). Aber auch die anderen drei Arten lagen mit einer LC_{50} von etwa 0,5 ppm (F. candida), 1,5 ppm (T. flavescens und 8 ppm (T. minor) weit unter 120 ppm.

Mittels der Probit-Regressionsanalyse ließen sich auch die mittleren Absterbezeiten (t_{50}) für die mit unterschiedlichen Dimilinkonzentrationen behandelten Collembolen herleiten (Tab. 2). Abb. 2 und Abb. 3 veranschaulichen die Abhängigkeit der Absterbegeschwindigkeit von der Konzentration am Beispiel von I. minor und T. flavescens.

Bei I. minor verkürzt sich die t_{50} von ca. 23 Tagen bei der niedrigsten angesetzten Konzentration von 0,001 ppm sukzessive auf ca. 8,5 Tage bei 1 ppm, wobei sich die Vertrauensbereiche der t_{50} nicht oder nur geringfügig (bei 0,01 und 0,1 ppm) überschneiden. Die Überlappung der 0-Probe mit dem 0,001-ppm-Ansatz folgt aus dem sehr weiten Vertrauensbereich der t_{50} der 0-Probe, bedingt durch die relativ geringe Mortalität während der Beobachtungsdauer.

Bei T. flavescens trat in der unbehandelten Kontrolle keine Mortalität auf, weshalb auch keine t_{50} errechnet werden konnte. Ein Vergleich der mittleren Absterbezeiten zeigt aber auch bei dieser Collembolenart eine deutliche Verkürzung der mittleren Überlebenszeit mit steigender Konzentration bis zu einem Bereich von etwa 10 ppm, von dem ab Überlappungen der Vertrauensbereiche bei einer t_{50} von etwa 5 Tagen auftreten. Ab einem Sättigungspunkt konnte also die Absterbegeschwindigkeit durch weitere Dimilingaben nicht mehr beschleunigt werden.

Dies liegt an der eingangs erläuterten Wirkungsweise von Dimilin, welches nach oraler Aufnahme in den Häutungsablauf der Insekten eingreift. Anhand von T. flavescens sollen die beobachteten Störungen im Häutungsgeschehen näher erläutert werden. Bei nicht behandelten Tieren spielt sich dieser Vorgang in der Regel innerhalb weniger Minuten ab. Nachdem die alte Kutikula an der dorsalen Mittellinie, ausgehend vom Thorax II, bis zur Kopfmitte und zum Abdominalsegment III, aufgeplatzt ist, legen sich die Collembolen zur Seite und streifen unter gleichmäßigen Auf- und Abbewegungen des Körpers

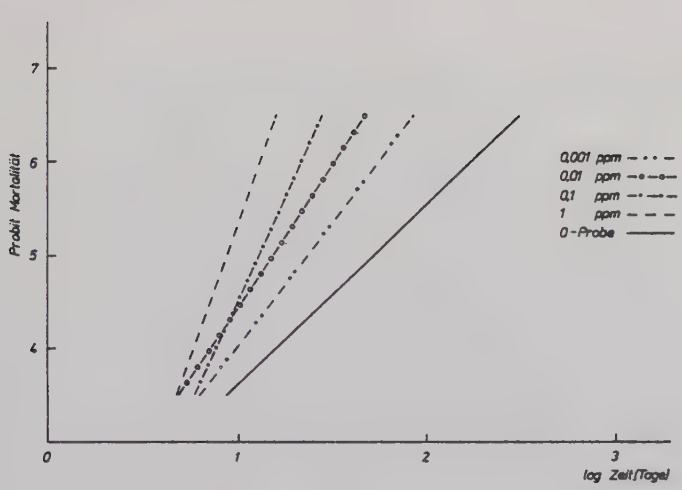


Abb. 2

Vergleich der t_{50} und des Absterbeverlaufes bei I. minor nach Behandlung mit verschiedenen Konzentrationen von Dimilin

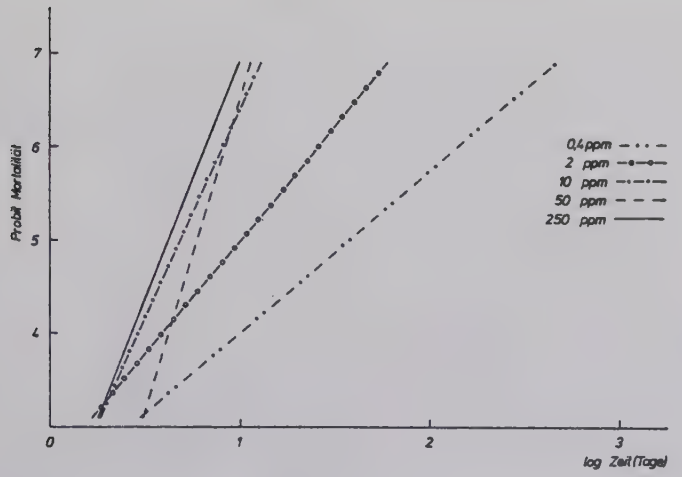


Abb. 3

Vergleich der t_{50} und des Absterbeverlaufes bei T. flavescens nach Behandlung mit verschiedenen Konzentrationen von Dimilin

Tab. 2 : Behandlung von I. minor und T. flavescens mit Dimilin: Zusammenstellung der Regressionsgeradengleichungen, t_{50}-Werte und Regressionskoeffizienten mit 95 %igen Vertrauensbereichen.

Art	Konzentration	Geradengleichung	t_{50} (95% VB) in Tagen	ß (95% VB)
I. minor	0-Probe	y=1,705 + 1,926 x	51,4 (25,9 - 101,9)	1,926 (0,949 - 2,902)
	0,001 ppm	y=1,336 + 2,695 x	22,9 (18,7 - 28,0)	2,695 (1,990 - 3,400)
	0,01 ppm	y=1,436 + 3,026 x	15,1 (13,5 - 16,8)	3,026 (2,323 - 3,729)
	0,1 ppm	y=0,103 + 4,428 x	12,8 (12,0 - 13,6)	4,428 (3,679 - 5,177)
	1 ppm	y=-0,523 + 5,908 x	8,6 (8,1 - 9,1)	5,908 (4,728 - 7,088)
T. flavescens	0,4 ppm	y=2,247 + 1,746 x	37,7 (15,8 - 90,1)	1,746 (0,684 - 2,807)
	2 ppm	y=2,649 + 2,272 x	10,8 (9,0 - 13,1)	2,272 (1,534 - 3,010)
	10 ppm	y=1,868 + 4,570 x	4,8 (4,3 - 5,3)	4,570 (3,287 - 5,853)
	50 ppm	y=-0,275 + 6,822 x	5,9 (5,4 - 6,6)	6,822 (4,285 - 9,359)
	250 ppm	y=1,752 + 5,237 x	4,2 (3,8 - 4,6)	5,237 (3,942 - 6,532)

die alte Haut ab. Nacheinander werden Fühler und Beinpaare, schließlich das Abdomen mit der Furca aus der Exuvie gezogen.

Unter Einwirkung von Dimilin kann sich dieser Prozeß unter Umständen über einige Tage erstrecken. Je nach Höhe der Dimilingaben sterben die Tiere in einem unterschiedlich fortgeschrittenen Häutungsstadium ab. Bei sehr hohen Konzentrationen platzt in der Regel nur noch die alte Kutikula dorsal; die neue Haut ist von so weicher und klebriger Beschaffenheit, daß die Exuvie nicht abgelöst werden kann (Abb. 4 oben) und die Tiere rasch verenden. Bei mittleren Konzentrationen sind häufig Exemplare zu finden, welche inmitten der Häutungsphase absterben (Abb. 4 Mitte). Bei geringen Konzentrationen können in der Regel die Häutungen vollzogen werden, wobei jedoch häufig die alte Kutikula an der Furca hängenbleibt (Abb. 4 unten). Ein Teil dieser Tiere stirbt nach ein paar Tagen, der andere Teil kann trotz der starken Behinderung - die Furca kann nicht mehr ventral eingeklappt werden und bleibt nach hinten gestreckt - oft noch einige Wochen leben. Werden derartige Tiere zum Beispiel mit Weizenkeimen gefüttert, so werden anstatt einzelner kompakter Kotballen regelrechte Kotschnüre von aneinanderklebenden Kotballen auf der nach hinten gestreckten Furca transportiert.

Abb. 4

Unter dem Einfluß von Dimilin in unterschiedlichen Häutungsphasen abgestorbene Collembolen der Art T. flavescens
(Vergrößerung ca. 15fach)

Die Fotos und Abb. 5 beziehen sich auf einen in Kap. 3.2.1.2. beschriebenen Versuch mit ca. 5 Monate alten Exemplaren von T. flavescens, die etwas weniger empfindlich auf Dimilin reagierten, in den altersspezifisch höheren letalen Konzentrationen jedoch ebenso das Spektrum der geschilderten Schädigungen aufwiesen.

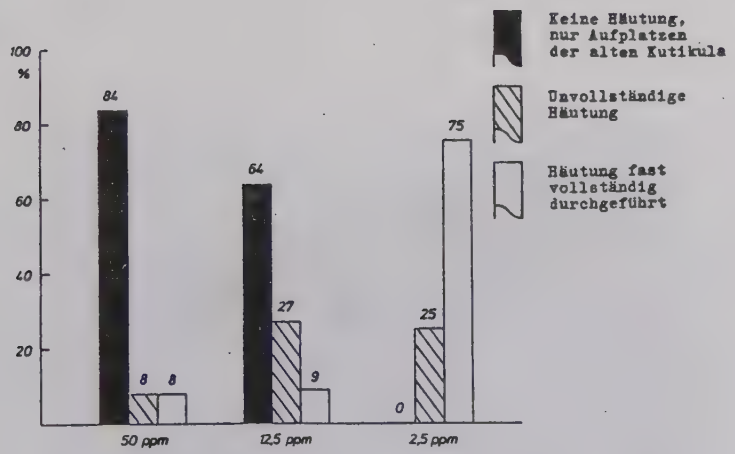


Abb. 5

Anteile von in unterschiedlichen Häutungsphasen abgestorbenen Versuchstiere der Art T. flavescens in Abhängigkeit von der Dimilinkonzentration

In Abb. 5 sind die Anteile der in unterschiedlichen Häutungsphasen abgestorbenen Tiere in Abhängigkeit von der Konzentration graphisch aufgetragen. Es wird deutlich, daß mit fallender Konzentration die Quote der Versuchstiere, die keine

Häutung mehr vollziehen können (schwarze Säule) sinkt, während gleichzeitig eine Zunahme der bereits halb (schraffierte Säule) bzw. fast vollständig gehäuteten Tieren (weiße Säule) zu verzeichnen ist.

Bei den übrigen auf Dimilin reagierenden Collembolenarten konnten diesbezüglich ähnliche Beobachtungen gemacht werden. Abb. 6 gibt einen Dimilin-geschädigten Collembolen der Art I. minor wieder. Thorax mit den Beinpaaren, Kopf und ein Teil des Abdomens sind bereits gehäutet, während die alte Kutikula nicht mehr von den Fühlerendgliedern und hinteren Abdominalsegmenten mit der Furca gelöst werden konnte.

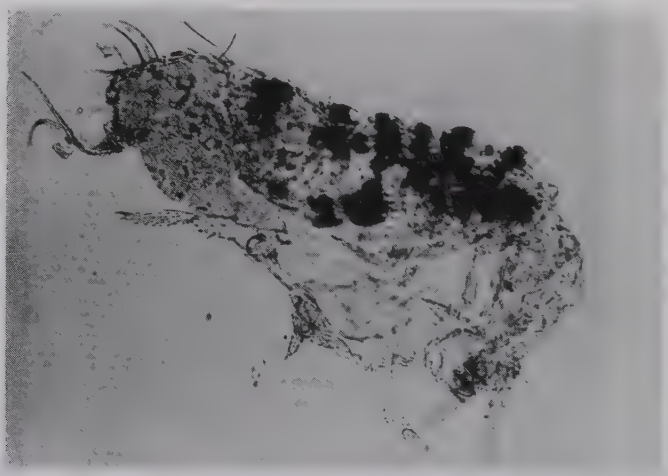


Abb. 6
Dimilin-geschädigter Collembole der Art Isotomiella minor
(ca. 140fach vergrößert)

Während die Toleranzen gegenüber Dimilin bei den getesteten Collembolenarten also sehr unterschiedlich ausgeprägt waren, erwiesen sich die untersuchten Arten gegenüber Ambush als einheitlich sehr wenig anfällig.

Die LC_{50}- Werte, die bei I. minor mit 621 ppm, bei F. candida mit 705 ppm angegeben werden können (Tab. 3), übersteigen die praxisübliche Aufwandmenge von 40 ppm (auf Laborapplikation umgerechnet) um mehr als das 10fache. In dieser Größenordnung ist auch der Reaktionsbereich von T. flavescens mit einer Mortalität von 73 % bei 500 ppm anzusetzen. In Abb. 7 sind die sehr ähnlich verlaufenden Regressionsgeraden von I. minor und F. candida aufgetragen (Vertrauensbereiche der LC_{50} und von ß überlappen sich).

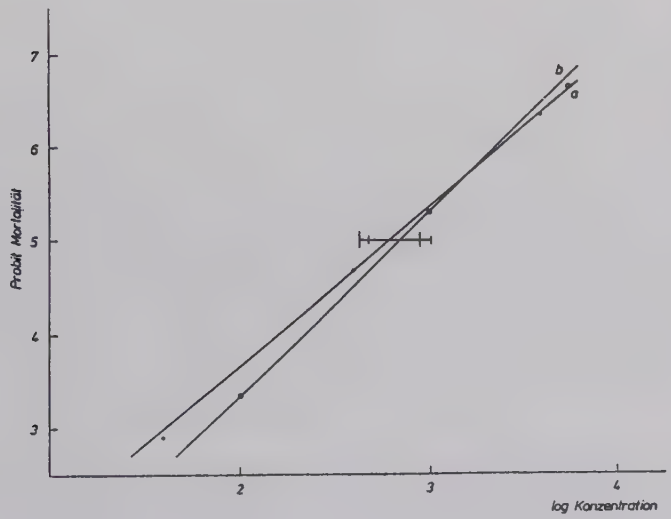


Abb. 7

Mortalitätsverlauf nach Behandlung mit Ambush
in verschiedener Konzentration bei I. minor (a) und F. candida (b)

Tab. 3: Behandlung mit Ambush: Gleichungen der Regressionsgeraden, LC_{50}-Werte und Regressionskoeffizienten mit 95prozentigen Vertrauensbereichen

Art	Geradengleichung	LC_{50} (95 % VB) in ppm	β (95 % VB)
I. minor	y = 0,307 + 1,680 x	621,5 (429,5 - 899,4)	1,680 (1,248 - 2,112)
F. candida	y = 0,534 + 1,943 x	705,0 (485,1 - 1024,4)	1,943 (1,423 - 2,463)

In den hohen, über 90 % Mortalität verursachenden Konzentrationsbereichen starben die Tiere innerhalb eines Tages ab. Die Errechnung einer t_{50} für die mit Ambush behandelten Collembolen läßt sich nicht durchführen, da die Einstufung in tote und noch lebende Tiere infolge der ausgeprägten „Knockdown"-Wirkung unmittelbar nach der Applikation nicht möglich ist. Dies trifft ebenfalls für die mittleren Konzentrationsbereiche zu, da sich ein Teil der Testtiere wieder erholen kann. Auch hier trat die Mortalität zum überwiegenden Teil bereits innerhalb des ersten Tages ein, so daß die Collembolen vor allem durch die Kontakt-, weniger durch die Fraßgiftwirkung des Pyrethroides, zu Tode kamen.

3.2.1.1.2. Oribatiden

Hornmilben führen nicht wie Collembolen überzählige Imaginalhäutungen aus. Nach einem Larven- und drei Nymphenstadien (Proto-, Deuto-, Tritonymphe) entwickeln sich die Tiere zu Imagines. Da Diflubenzuron störend in den Häutungsablauf eingreift, wurden die Untersuchungen mit noch nicht erwachsenen Stadien dreier Oribatidenarten - Hermannia gibba (KOCH), Nothrus silvestris (NIC.) und Nanhermannia elegantula (BERL.) durchgeführt. Selbst bei einer Konzentration von 0,1 % konnte bei keiner der drei Arten irgendeine Beeinträchtigung bei der Häutung festgestellt werden. In Tab. 4 ist der Anteil gehäuteter Individuen aus den Versuchen mit H. gibba und N. silvestris nach 13wöchiger Beobachtungszeit angegeben. Deuto- bzw. Tritonymphen von H. gibba wurden in 1 - 2wöchigen Abständen in neue behandelte Gefäße umgesetzt, die Deutonymphen von N. silvestris verblieben während des gesamten Versuchszeitraumes im ursprünglichen Behälter. Da die Mortalität von N. silvestris-Nymphen bei einer Einzelhaltung dieser Art sehr hoch war, wurden die Tiere zunächst in behandelten bzw. unbehandelten Mischproben mit diversen Milbenarten belassen, da diese Haltung offensichtlich geringere Sterberaten zur Folge hatte. Nach einer Woche wurden je 23 in Häutungsstarre befindliche Deutonymphen isoliert und die Anzahl erfolgter Häutungen protokolliert. Die jeweilige Anzahl gehäuteter und nicht gehäuteter Exemplare in den Dimilin- und 0-Proben der unterschiedlichen Versuchsansätze wurden dem χ^2-Vierfeldertest (SACHS, 1978) unterzogen.

Da sämtliche χ^2-Werte weit unter 3,84, dem Wert, der dem Signifikanzniveau $p = 0,05$ entsprechen würde, liegen, lassen sich auch keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Oribatiden nachweisen.

Tab. 4: Anteil gehäuteter Oribatidennymphen in unbehandelten und mit Dimilin behandelten Proben (n = Anzahl beobachteter Versuchstiere)

Art	Häutungen in %		n	X^2
	0-Probe	0,1 %		
H. gibba, Deuton.	71	86	28	1,70
H. gibba, Triton.	53	47	17	0,12
N. elegantula	83	77	30	0,42
N. silvestris	69	74	22	0,11

Bei einer Steigerung der Konzentration auf 1 % bzw. 10 % ließ sich bei Deutonymphen von H. gibba drei Wochen nach Applikation nur bei der höheren Konzentration eine deutlich erhöhte Mortalität (76 %) gegenüber der 0-Probe (23 %) nachweisen, die jedoch auf eine massive Behinderung der Milben durch den angefeuchteten Dimilinstaub zurückgeführt wird, einem Effekt, der bei praktischer Anwendung nicht auftreten kann.

Auch gegenüber einer Behandlung mit Ambush erwies sich die Hornmilbe H. gibba als weitgehend tolerant. Bei Aufpipettierung von 40 ppm bzw. 400-ppm-Emulsionen auf die mit Grünalgen-Rindenstückchen belegten Gipsböden der Versuchsgefäße, zeigte sich bei den adulten Tieren (n = 20) kein Effekt. In der 40-ppm-Variante trat keine Mortalität innerhalb von 14 Tagen ein, bei 400 ppm und in der 0-Probe belief sich die Sterberate auf 5 %.

Bei einer Variation der Applikationsmethode (Aufpipettieren der Emulsion auf Filterpapier, das dem Versuchsgefäßboden angepaßt war) traten innerhalb von 14 Tagen deutlich höhere Mortalitätswerte auf (Tab. 5, Abb. 8). Jedoch liegt der LC_{50}- Wert mit 76,4 ppm fast doppelt so hoch wie die vom Freiland auf das Labor bezogene maximale Konzentration von 40 ppm.

Tab. 5: Behandlung von H. gibba mit Ambush: Gleichung der Regressionsgeraden, LC_{50}-Wert und Regressionskoeffizient mit 95prozentigem Vertrauensbereich

Geradengleichung	LC_{50} (95 % VB) in ppm	ß (95 % VB)
y = 2,614 + 1,267 x	76,4 (43,3 - 134,9)	1,267 (0,830 - 1,704)

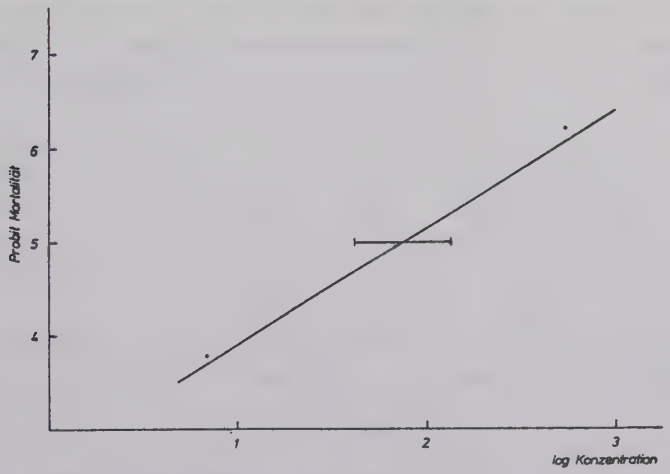


Abb. 8

Mortalitätsverlauf von H. gibba nach Behandlung mit Ambush (Applikation auf Filterpapier)

Da der Absterbevorgang wesentlich langsamer als bei den mit Ambush behandelten Collembolen verlief - nach einer Woche war meist noch nicht einmal die Hälfte der nach zwei Wochen gestorbenen Tiere tot - ist anzunehmen, daß die Milben vor allem durch perorale Aufnahme des Permethrins zu Tode kamen, zumal auch keine deutliche „Knock-down"-Wirkung zu beobachten war. Als typische Ambush-Reaktion konnte bei einem Teil der sterbenden Milben das Hervorstrecken des Ovipositors gewertet werden. Dieses Phänomen fiel ebenfalls bei anderen in Sammelproben gehaltenen, nicht näher untersuchten Milbenarten wie z. B. Tectocepheus velatus und Adoristes ovatus auf.

3.2.1.2. Altersspezifische Mortalität

Wie bereits in Kap. 3.2.1.1. angedeutet, erwiesen sich ältere Collembolen der Art T. flavescens gegenüber Dimilin als weniger empfindlich als jüngere Tiere. In Abb. 9 sind die Konzentrations-Mortalitätsbeziehungen in Form von Regressionsgeraden für ca. 2, 12 und 20 Wochen alte Tiere aufgetragen.

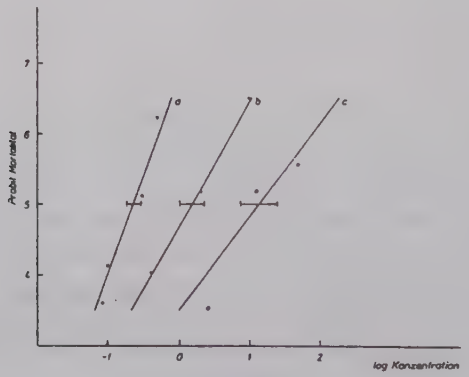


Abb. 9

Mortalitätsverläufe von T. flavescens unterschiedlichen Alters (a = 2 Wochen alt; b = 12 Wochen alt; c = 20 Wochen alt) nach Behandlung mit Dimilin in steigender Konzentration

Mit zunehmendem Alter nimmt die Empfindlichkeit gegenüber Dimilin ab (Tab. 6); die mittlere letale Konzentration für zwei Wochen alte Tiere lag 6,6mal niedriger als die für 12 Wochen alte Collembolen, die ihrerseits wiederum eine 9,3fach geringere Toleranz aufwiesen als die großen, 20wöchigen Versuchstiere. Im Extremfall lag der LC_{50}-Wert für 20 Wochen alte Tiere 61mal so hoch wie der für zwei Wochen alte Tiere.

Innerhalb des altersspezifisch letalen Konzentrationsbereiches war die bereits unter 3.2.1.1.1. beschriebene Palette an Häutungsstörungen mit fast geglückten Häutungen in den jeweils niedrigeren bis zu vollständig mißlungenen Häutungen in den höheren Konzentrationen zu verzeichnen

Tab. 6: Behandlung von unterschiedlich alten Collembolen der Art T. flavescens mit Dimilin: Zusammenstellung der Regressionsgeradengleichungen, LC_{50}-Werte und Regressionskoeffizienten mit 95prozentigen Vertrauensbereichen

Alter	Geradengleichung	LC_{50} (95 % VB) in ppm	ß (95 % VB)
2 Wochen	y = 6,823 + 2,842 x	0,228 (0,179 - 0,291)	2,842 (1,770 - 3,913)
12 Wochen	y = 4,693 + 1,750 x	1,498 (0,997 - 2,250)	1,750 (1,141 - 2,359)
20 Wochen	y = 3,514 + 1,299 x	13,930 (7,414 - 26,174)	1,299 (0,597 - 2,001)

Im Gegensatz zu den altersabhängigen Toleranzen gegenüber Diflubenzuron bei der zur Familie der Entomobriidae zählenden Collembolenart T. flavescens zeigte sich, wie die Probitanalyse ergab (Abb. 10, Tab. 7), bei einem Vergleich von juvenilen und adulten Tieren des Isotomiden F. candida kein Unterschied in den letal wirkenden Konzentrationsspannen. Die beiden Regressionsgeraden mit den sich überlagernden 95prozentigen Vertrauensbereichen von ß und der LC_{50} verlaufen nahezu identisch.

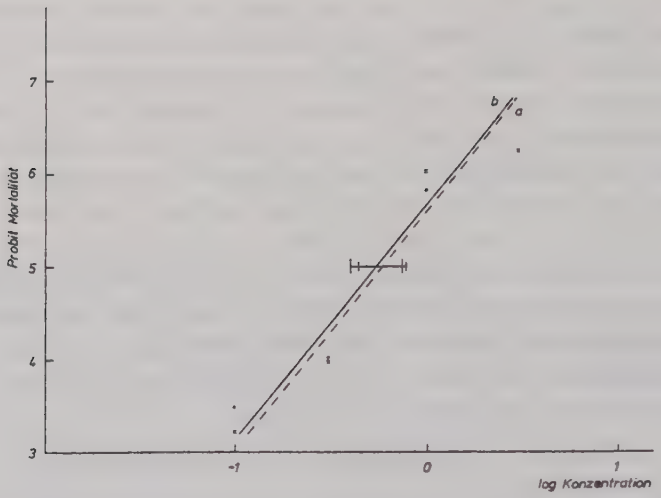


Abb. 10

Mortalitätsverläufe von F. candida unterschiedlichen Alters (a = 1 Woche alt; b = 5 Wochen alt) nach Behandlung mit Dimilin in steigender Konzentration

Tab. 7: Behandlung von unterschiedlich alten Collembolen der Art F. candida mit Dimilin: Regressionsgeradengleichungen, LC_{50}-Werte und Regressionskoeffizienten mit 95prozentigen Vertrauensbereichen

Alter	Geradengleichung	LC_{50} (95 % VB) in ppm	ß (95 % VB)
1 Woche	y = 5,597 + 2,573 x	0,586 (0,440 - 0,781)	2,573 (1,802 - 3,349)
5 Wochen	y = 5,669 + 2,522 x	0,543 (0,400 - 0,737)	2,522 (1,597 - 3,447)

Die Isotomidenart, die bei den Freilandversuchen besondere Berücksichtigung fand, war Isotomiella minor. Laborversuche zur Darstellung einer unterschiedlichen Empfindlichkeit juveniler und adulter Tiere dieser Art scheiterten an einer hohen Mortalität der jungen Collembolen bereits beim Einsetzen in die Versuchsgefäße. Auch bei äußerst schonendem Vorgehen zeigten sich diese zarthäutigen Jugendstadien der Manipulation nicht gewachsen. Darüber hinaus unterlagen sie deutlich einer Wirkung elektrostatischer Kräfte der Kunststoffwände der Versuchsgefäße. Tendenziell läßt sich jedoch aus den wiederholten Versuchsansätzen kein oder zumindest kein großer Empfindlichkeitsunterschied gegenüber Dimilin zwischen Jung- und Alttieren ableiten. Dies entspräche auch der Anführung DOPPELREITERS (1978), der ebenfalls keine altersbedingten Mortalitätsunterschiede bei dem Isotomiden Folsomia quadrioculata beobachten konnte.

3.2.1.3. Einfluß der Temperatur

Stoffwechselvorgänge sind temperaturabhängig; mit einer Erhöhung der Temperatur ist eine Steigerung ihrer Intensität verbunden, die sich in einer Beschleunigung der Entwicklung bis hin zu einer bestimmten optimalen Temperatur ausdrückt (WEBER und WEIDNER, 1974). Da sich nach THIBAUD (1977) mit steigender Temperatur die Häutungsintervalle bei Collembolen verkürzen, stellte sich die Frage, inwieweit Mortalität und Absterbezeit der Versuchstiere nach einer Behandlung mit dem Häutungshemmer Dimilin von Temperaturänderungen beeinflußt werden.

Unbehandelte und behandelte Collembolen der Arten T. flavescens (juvenil, zwei Wochen alt), I. minor (adult) und F. candida (adult) wurden bei Temperaturen von 9 °C, 18 °C

und 27 °C gehalten und so lange beobachtet, bis sich die Sterberaten nicht mehr nennenswert veränderten. Dieser Zeitpunkt wurde in Form von Mortalitätsprozenten und Wirkungsgraden in den Tab. 8 - 10 festgehalten.

Tab. 8: Mortalität und Wirkungsgrade (WG) drei Wochen nach Behandlung mit Dimilin in Abhängigkeit von der Temperatur bei T. flavescens (n = 28 bis 30)

Temp.	0-Probe Mortalität	0,5 ppm Mortalität	WG	2,5 ppm Mortalität	WG
9°	11 %	34 %	26	97 %	97
18°	33 %	97 %	96	100 %	100
27°	97 %	97 %	0	100 %	100

Tab. 9: Mortalität und Wirkungsgrade (WG) vier Wochen nach Behandlung mit Dimilin in Abhängigkeit von der Temperatur bei I. minor (n = 50 bis 53)

Temp.	0-Probe Mortalität	0,01 ppm Mortalität	WG
9°	25 %	75 %	67
18°	9 %	75 %	73
27°	31 %	79 %	70

Tab. 10: Mortalität und Wirkungsgrade (WG) vier Wochen nach Behandlung mit Dimilin in Abhängigkeit von der Temperatur bei F. candida (n = 29 bis 30)

Temp.	0-Probe Mortalität	0,5 ppm Mortalität	WG	1 ppm Mortalität	WG
9°	3 %	87 %	87	93 %	93
18°	7 %	83 %[1)]	82	88 %[2)]	87
27°	10 %	47 %[3)]	41	53 %[4)]	48

1) Durchschnittswert aus 2 Versuchsansätzen (Einzelwerte: 87 %, 80 %)

2) Durchschnittswert aus 3 Versuchsansätzen (Einzelwerte: 90 %, 83 %, 90 %)

3) Durchschnittswert aus 3 Versuchsansätzen (Einzelwerte: 41 %, 57 %, 43 %)

4) Durchschnittswert aus 3 Versuchsansätzen (Einzelwerte: 53 %, 57 %, 50 %)

Bei T. flavescens ist mit steigender Temperatur eine deutliche Erhöhung der Mortalität in den unbehandelten Proben verbunden. Die letale obere Temperaturgrenze liegt bei 27 °C, so daß sich drei Wochen nach Behandlung praktisch kein Unterschied in den Sterberaten zwischen 0- und Dimilin-Proben ergibt. Während bei der höheren, im Sättigungsbereich liegenden Konzentration von 2,5 ppm in sämtlichen Temperaturvarianten Wirkungsgrade von 97 - 100 erreicht werden, zeigt sich, daß in der niedrigeren Konzentration (0,5 ppm) bei den unter einer Temperatur von 9 °C gehaltenen Tieren der Wirkungsgrad mit 26 deutlich unter dem der 18°-Variante mit 96 anzusetzen ist.

Anders stellen sich die Verhältnisse bei I. minor und F. candida dar; die Temperatur von 27 °C liegt noch unterhalb der oberen letalen Temperaturgrenze. Eine deutliche Temperaturabhängigkeit innerhalb der 0-Proben ist nicht erkennbar. Die Behandlungskonzentrationen sind bei beiden Arten so gewählt, daß in keinem Temperaturbereich 100 % Mortalität erreicht wird. Bei I. minor waren vier Wochen nach Applikation von 0,01 ppm Dimilin in allen drei Temperaturstufen sehr einheitlich drei Viertel der Versuchstiere abgestorben. Bei F. candida sind sowohl bei 0,5 ppm als auch bei 1 ppm keine Unterschiede in den Mortalitätsprozenten und Wirkungsgraden zwischen einer Haltung unter 9 °C und unter 18 °C ersichtlich. Dagegen sind wesentlich geringere Sterberaten unter einer Temperatur von 27 °C zu verzeichnen.

Die Haltung der Collembolen unter verschiedenen Temperaturbedingungen wirkte sich bei jeder der drei Arten anders aus: T. flavescens wies bei tiefer, F. candida bei hoher Temperatur deutlich niedrigere Wirkungsgrade auf, I. minor verhielt sich indifferent. Dagegen ergab sich vor allem zu Versuchsbeginn ein gleichgerichteter, temperaturabhängiger Absterbe-

verlauf. Entsprechend der bei höheren Temperatur früher eintretenden Häutungen setzte bei allen drei Arten der Absterbevorgang zunächst bei den unter 27°, in der Regel etwas später bei den unter 18° und meist mit deutlicher Verzögerung bei den unter 9° gehaltenen Versuchstieren ein (Abb. 11).

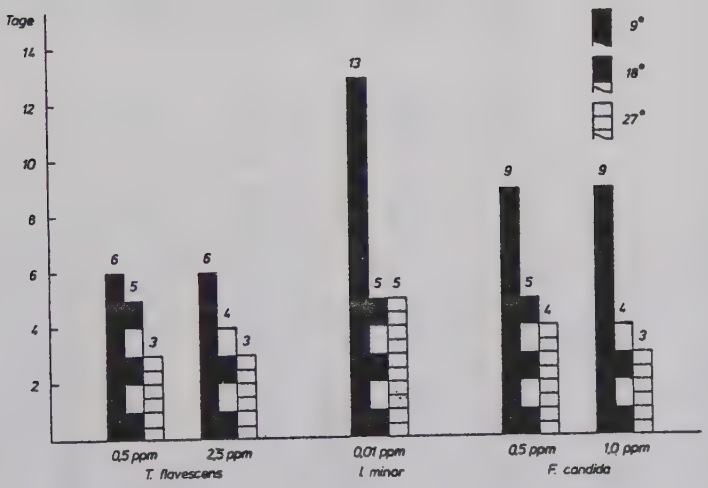


Abb. 11

Absterbebeginn (in Tagen) bei den mit Dimilin behandelten Collembolen unter Einfluß der Temperatur

Bei T. flavescens und I. minor geben auch die mit den Probitregressionsanalysen errechneten mittleren Absterbezeiten (Tab. 11) den bei tieferen Temperaturen retardierten letalen Prozeß wieder. Bei F. candida ergibt sich ebenfalls von 9° zu

Tab. 11: Einfluß der Temperatur auf den Absterbeverlauf von T. flavescens, I. minor und F. candida nach Behandlung mit Dimilin: Zusammenstellung der Regressionsgeraden, t_{50}-Werte und Regressionskoeffizienten mit 95prozentigen Vertrauensbereichen.

Art	Konzentration	Temp.	Geradengleichung	t_{50} (95% VB)	β (95 % VB)
T. flavescens	0-Probe	9°	y=-0,179 + 3,285 x	37,719 (5,389 - 264,016)	3,285(-2,961- 9,531)
		18°	y= 2,210 + 1,896 x	29,615 (17,313 - 50,659)	1,896(1,014- 2,778)
		27°	y= 0.679 + 4,760 x	8,087 (7,313 - 8,853)	4,760(3,698- 5,821)
	0,5ppm	9°	y= 1,517 + 2,418 x	27,571 (16,174 - 46,999)	2,418(0,884- 3,952)
		18°	y=-1,874 + 7,091 x	9,320 (8,683 - 10,002)	7,091(4,665- 9,517)
		27°	y= 1,232 + 4,636 x	6,498 (5,906 - 7,149)	4,636(3,638- 5,634)
	2,5ppm	9°	y=-4,089 + 8,165 x	12,969 (12,256 - 13,722)	8,167(6,097-10,237)
		18°	y= 3,309 + 2,686 x	4,261 (2,553 - 7,114)	2,686(1,088- 4,284)
		27°	y= 2,904 + 4,012 x	3,330 (2,770 - 4,003)	4,012(2,524- 5,500)
I. minor	0-Probe	9°	y= 2,754 + 1,104 x	108,248 (42,520 - 275,575)	1,104(0,568- 1,640)
		18°	y= 2,355 + 1,067 x	301,239 (30,530 -2972,280)	1,067(0,172- 1,962)
		27°	y= 2,280 + 1,542 x	58,069 /32,246 - 104,571)	1,542(0,751- 2,332)
	0,01ppm	9°	y= 0,244 + 3,645 x	20,174 (18,303 - 22,237)	3,645(2,884- 4,406)
		18°	y= 1,672 + 2,784 x	15,682 (14,004 - 17,561)	2,784(2,229- 3,339)
		27°	y= 1,755 + 2,839 x	13,900 (12,365 - 15,625)	2,839(2,183- 3,495)
F. candida	0,5ppm	9°	y=-2,936 + 6,258 x	18,541 (17,129 - 20,069)	6,258(4,502- 8,014)
		18°	y= 2,399 + 2,710 x	9,115 (7,755 - 10,715)	2,710(1,831- 3,579)
		27°	y= 3,509 + 1,035 x	27,579 (12,357 - 61,554)	1,035(0,370- 1,699)
	1 ppm	9°	y=-7,758 +10,157 x	18,033 (16,911 - 19,230)	10,157(6,740-13,574)
		18°	y= 1,793 + 3,487 x	8,312 (7,317 - 9,442)	3,487(2,646- 4,328)
		27°	y= 3,641 + 1,281 x	11,505 (6,963 - 19,009)	1,281(0,491- 2,071)

18° eine Verkürzung der t_{50}, bei 27° jedoch steigt dieser Wert, entsprechend der gegenüber den beiden anderen Temperaturen geringeren Mortalität, wieder an (Abb. 12).

Für F. candida konnten keine t_{50}-Werte der 0-Proben errechnet werden, da die Mortalität innerhalb des Beobachtungszeitraumes zu gering war; die t_{50}-Werte der unbehandelten Tiere von I. minor haben infolge der geringen Sterberaten riesige - unrealistisch werdende - Vertrauensbereiche (z. B. erstreckt sich der Vertrauensbereich bei 18° von 30,5 - 2972 Tage). Um die graphische Darstellung der mittleren Absterbezeiten (Abb. 12) übersichtlich zu gestalten, wurde daher auf eine Wiedergabe der 0-Proben-Werte verzichtet.

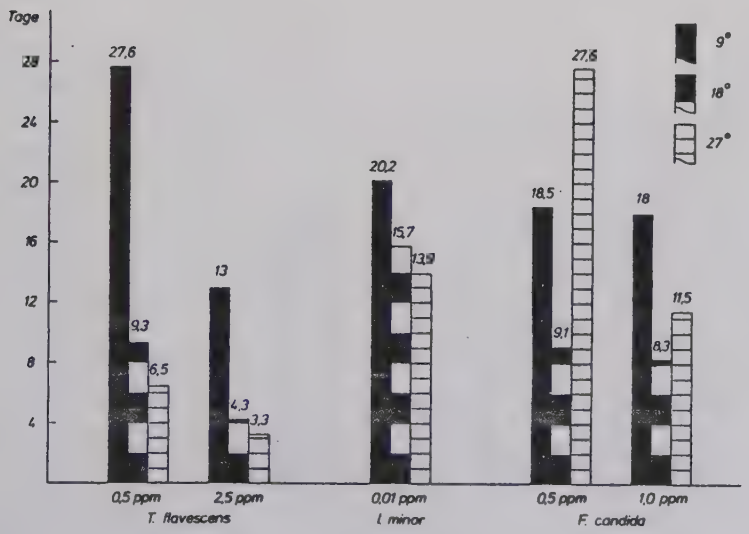


Abb. 12

Mittlere Absterbezeiten in Tagen
bei den mit Dimilin behandelten Collembolen
unter Einfluß der Temperatur

3.2.2. Ovizide Wirkung

Die Eier aus verschiedenen Eigelegen der Arten T. flavescens, I. minor und F. candida wurden aus den Zuchtbehältern mit einem feinen Haarpinsel in die präparierten Versuchsgefäße eingesetzt und bei einer Temperatur von 18 °C aufbewahrt. Da die Versuchsbedingungen jenen gleichkamen, die bei der Ermittlung der LC_{50}-Werte herrschten, können die Ergebnisse auch den Mortalitätswerten der beweglichen Stadien gegenübergestellt werden. Jeweils 30 0 bis 2 Tage alte Eier von T. flavescens wurden mit Konzentrationen von 1 - 10 ppm Dimilin und von 40 ppm und 400 ppm Ambush in Berührung gebracht und hinsichtlich Chorionsprung- und Schlüpfrate untersucht (Abb. 13).

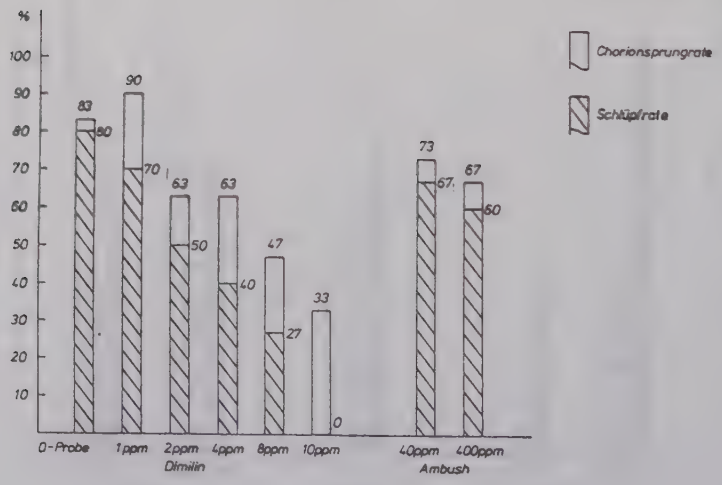


Abb. 13

Chorionsprung- und Schlüpfraten
bei unterschiedlichen Konzentrationen von Dimilin und Ambush

Mit steigender Dimilinkonzentration war ab 2 ppm eine gegenüber der 0-Probe sukzessive Verringerung der Chorionsprungrate, schon ab 1 ppm eine Minderung des Schlüpferfolgs erkennbar, bis schließlich bei 10 ppm zwar noch gut 30 % der Eier den Chorionsprung erreichten, jedoch nicht mehr zum Schlüpfen kamen. Durch Ambush schien die Vitalität der Eier nicht oder allenfalls nur sehr schwach beeinträchtigt zu werden, obwohl die angesetzten Konzentrationen den Freilandwerten entsprachen (40 ppm) bzw. diese um eine Zehnerpotenz überstiegen.

Bei der regressionsanalytischen Auswertung (Abb. 14, Tab. 12) wurden die Konzentrationen ermittelt, die bei 50 % der Eier den Chorionsprung (wird in Tab. 14 mit Ch_{50} bezeichnet) bzw. das Freiwerden der Jungtiere aus der Eihülle hemmten. Letztere wurden nach WEBER (siehe S. 21) mit den in Kap. 3.2.1.2. ermittelten LC_{50}-Werten der beweglichen Stadien verglichen.

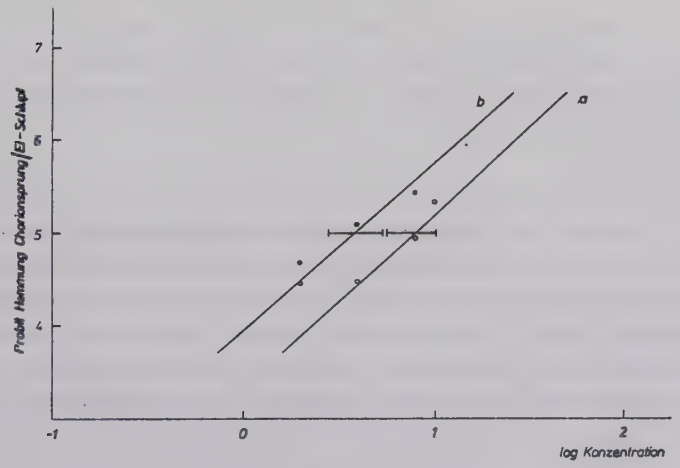


Abb. 14

Verhinderung a) des Chorionsprungs bzw. b) des Schlüpfens von Dimilin-behandelten Eiern der Art. T. flavescens

Tab. 12

Ovizide Wirkung von Dimilin bei T. flavescens:
Regressionsgeradengleichungen, Ch_{50} bzw. LC_{50} der Eier,
Regressionskoeffizienten mit 95prozentigen Vertrauensbereichen

	Geradengleichung	Ch_{50} bzw. LC_{50} (Eier) (95 % VB) in ppm	β (95 % VB)
Chorionsprung	y = 3,310 + 1,868 x	8,030 (5,700 - 11,317)	1,868 (1,157 - 2,579)
Eischlupf	y = 3,935 + 1,800 x	3,905 (2,821 - 5,406)	1,800 (1,046 - 2,554)

Demnach erwiesen sich die 0 - 2 Tage alten Eier von T. flavescens als 17mal weniger empfindlich als juvenile und 2,6mal weniger empfindlich als eben adulte (12 Wochen alte) Stadien. Da nur die sehr alten Collembolen (ca.3mal) weniger sensibel reagierten, scheint eine Gefährdung der Eier durch Dimilin im Vergleich zu den beweglichen Stadien eine untergeordnete Rolle zu spielen, zumal im Freiland die Eier in der organischen Auflage versteckt abgelegt werden, so daß eine zusätzliche räumliche Barriere als Schutz gegeben ist.

Eier, die erst nach dem Chorionsprung mit Dimilin kontaminiert wurden, wiesen hinsichtlich ihres Schlüpfverhaltens gegenüber unbehandelten Eiern selbst bei einer Konzentration von 100 ppm keine Unterschiede auf. Bei einer Konzentration von 1000 ppm schlüpften zwar keine Jungtiere, doch konnte in knapp 70 % die Keimesentwicklung fast vollständig abgeschlossen wer-

den, wie sich am Sichtbarwerden der Augen unter den Eihüllen zeigte.

Auch bei I. minor und F. candida zeigte sich eine wesentlich geringere Empfindlichkeit der Eier im Vergleich zu den beweglichen Stadien. Wenn diese Tatsache für I. minor auch nur tendenziell aufgezeigt werden kann, da die Sensibilität gegenüber Dimilin in starkem Maße durch die Empfindlichkeit der Eier (0 - 1 Tag alt) gegenüber mechanischen Einwirkungen (z. B. Verletzungen der Eihülle bei Versuchsansatz) überlagert wird, so wird dennoch ersichtlich, daß selbst bei einer Konzentration von 10 ppm, die die LC_{50} der erwachsenen Collembolen (ca. 0,03 ppm) um das über 300fache übersteigt, eine der 0-Probe vergleichbare Schlüpfrate erreicht wird (Tab. 13).

Tab. 13

Schlupfraten von mit Dimilin behandelten Eiern (n = 30) des Collembolen I. minor

	0-Probe	0,01 ppm	1 ppm	10 ppm
Schlupfrate	40 %	20 %	14 %	30 %

Bei F. candida schlüpften bei einer Konzentration von 10 ppm noch alle Eier, die vor dem Chorionsprung (0 - 1 Tag alt) mit Dimilin behandelt wurden, bei 100 ppm war eine Abnahme des Schlüpferfolges festzustellen. Bei nach dem Chorionsprung behandelten Eiern war in dieser Konzentration kein nachteiliger Einfluß auf die Schlupfrate festzustellen. Erst bei 1000 ppm wurde ein Schlüpfen der Jungtiere fast völlig verhindert (Tab. 14); bei gut zwei Drittel der Eier konnte die Eihülle zwar noch gesprengt werden, doch schafften es die Jungtiere nicht mehr, die Hülle zu verlassen und starben ab.

Tab. 14: Schlupfrate und Mortalität geschlüpfter Collembolen der Art F. candida nach Behandlung der Eier (n = 25 - 30) vor bzw. nach erfolgtem Chorionsprung mit Dimilin in unterschiedlicher Konzentration

	Zeitpunkt der Behandlung	0-Probe	10 ppm	100 ppm	1000 ppm
Schlupfrate in %	vor Chorionsprung	83	100	33	0
	nach Chorionsprung	96	89	96	5
Mortalität geschlüpfter Collembolen in %	vor Chorionsprung	0	19	100	-
	nach Chorionsprung	0	52	92	100

Die aus den Eiern geschlüpften Collembolen wurden in den Versuchsgefäßen belassen und noch 14 Tage hinsichtlich der auftretenden Mortalität beobachtet. Während bei 10 ppm nur 19 % bzw. 52 % der geschlüpften Tiere abstarben, blieb bei 100 ppm kaum noch ein Springschwanz am Leben. Die absterbenden Collembolen zeigten die für Dimilin typischen Häutungsstörungen. Dies könnte zum einen auf verspätete Einwirkungen von Diflubenzuron während der Eiphase oder - was wahrscheinlicher ist, da die beweglichen Stadien sich als empfindlicher als die Eier erwiesen - auf eine perorale Aufnahme durch die geschlüpften Jungtiere zurückgeführt werden.

Auf Eier der Hornmilbe H. gibba konnte weder durch Dimilin (0,1prozentig) noch durch Ambush (400 ppm) irgendein negativer Effekt ausgeübt werden. Aus den zum Zeitpunkt der Behandlung 0 - 1 Tag alten Eiern waren nach etwa zwei Wochen, ebenso wie in der 0-Probe, sämtliche Larven geschlüpft (Tab. 15).

Tab. 15: Behandlung von Eiern (n = 15) der Hornmilbe H. gibba mit Dimilin und Ambush

	0-Probe	Dimilin 0,1 %	Ambush 400 ppm
Schlupfrate in %	100	100	100

3.2.3. Fertilität und Fekundität

Wie aus der Literatur hervorgeht, kann Dimilin nicht nur in den Häutungsablauf juveniler Stadien eingreifen, sondern auch bei adulten Tieren Fertilität und Fekundität beeinflussen (u. a. HOLST, 1975; WEISS, 1977).

3.2.3.1. Collembolen

Drei Versuchswiederholungen mit dem sich parthenogenetisch vermehrenden Collembolen F. candida[1)] (GOTO, 1960; SNIDER, 1973) sowie ein Versuch mit der getrenntgeschlechtlichen Art T. flavescens sollten klären, inwieweit auch epimetabole Insekten in ihrer Vermehrung durch Dimilin beeinflußt werden. Bei F. candida wurde zum Teil auch das Phyrethroid Ambush in die Untersuchungen mit einbezogen.

Für eine Versuchswiederholung wurden adulte Collembolen der Art F. candida in behandelte Gefäße (Dimilin 1 ppm, Ambush 400 ppm) eingesetzt. Nach zwölf Tagen wurden aus unbehandelten und behandelten Proben jeweils 15 Exemplare in drei neue Gefäße mit unbehandeltem Futter umgesetzt. Im Falle von

---

1) Bei den gezüchteten Tieren handelte es sich ausschließlich um Weibchen.

T. flavescens erfolgte nach zwölf Tagen eine Verteilung der Tiere auf neue unbehandelte Gefäße zu jeweils 2 x 20 Exemplaren pro Variante (0-Probe und Dimilin 0,5 ppm). Die Mortalität lag bei F. candida in den Dimilinvarianten nach zwölf Tagen zwischen 40 und 60 %, bei T. flavescens bei 13 %; in den Ambush-Proben trat keine Mortalität auf. Gefäße und Futter (Weizenkeime für F. candida, Streu für T. flavescens) wurden für den weiteren Beobachtungszeitraum wöchentlich erneuert. Nach dem Umsetzen der Collembolen wurde die Eizahl in den geräumten alten Gefäßen ermittelt und hinsichtlich der Schlupfrate überwacht.

In Tab.16a werden die durchschnittliche Anzahl der von 15 Tieren (aus drei Gefäßen pro Wiederholung) abgelegten Eier der Art F. candida sowie die Durchschnittswerte aus den Versuchswiederholungen summarisch für die einzelnen Kontrolltermine angegeben.

Die nach zwölf Tagen auf 15 Tiere zu beziehende Anzahl an Eiern ist in den einzelnen Wiederholungen sehr unterschiedlich. Dies liegt am unterschiedlichen Collembolenbesatz zu Versuchsbeginn. In Versuch I und III wurden pro Behandlungsvariante die Springschwänze auf drei Gefäße à 50 Tiere verteilt, in Versuch II befanden sich dagegen ca. 150 Tiere in einem Gefäß, so daß in dieser Wiederholung die relative Eizahl gegenüber I und II vermutlich aufgrund von gegenseitiger Behinderung bei der Eiablage verringert war. Um den Einfluß unterschiedlicher Besatzzahlen auf die Eiablage unter Kontrolle zu halten, wurden während des Versuchsablaufs sterbende Tiere sofort durch gleichermaßen behandelte Reservetiere ersetzt.

Werden die durchschnittlichen Summenwerte von Dimilin und Ambush mit der 0-Probe verglichen - der graphische Ver-

Tab. 16a; Entwicklung der Eiablage bei F. candida nach Behandlung mit Dimilin und Ambush

Tage nach Behandlung		0-Probe Versuchswiederholungen			ø	Dimilin 1 ppm Versuchswiederholungen			ø	Ambush 400 ppm Versuchswiederholungen		ø
		I	II	III	I-III	I	II	III	I-III	I	II	I-II
12	a)	35	4	28	22	27	1	5	11	64	18	41
	b)	100%	100%	100%	100%	77%	25%	18%	50%	183%	450%	186%
19	a)	110	56	98	88	75	12	25	37	140	67	104
	b)	100%	100%	100%	100%	68%	21%	26%	42%	127%	120%	118%
26	a)	175	132	121	143	110	40	70	73	195	142	169
	b)	100%	100%	100%	100%	63%	30%	58%	51%	111%	108%	118%
33	a)	190	180	191	187	128	117	85	110	201	204	203
	b)	100%	100%	100%	100%	67%	65%	45%	59%	106%	113%	109%
40	a)	209	187	209	202	168	191	115	158	217	230	224
	b)	100%	100%	100%	100%	80%	102%	55%	78%	104%	123%	111%
47	a)	241	224	237	234	206	231	145	194	225	232	229
	b)	100%	100%	100%	100%	85%	103%	61%	83%	93%	104%	98%

a) Anzahl abgelegter Eier; b) prozentuale Anteile der Dimilin- und Ambushreihen an den entsprechenden 0-Proben

lauf ist in Abb. 15 wiedergegeben - so fällt auf, daß nach Behandlung mit Dimilin die Anzahl abgelegter Eier in den ersten 4 - 5 Wochen etwa um 50 % vermindert war; nach ca. einem Monat beginnt die Dimilinkurve sich der Kurve der 0-Probe anzunähern, bis schließlich nach 47 Tagen 83 % der in der 0-Probe abgelegten Eier erreicht sind. Bei Ambush ist der umgekehrte Effekt zu beobachten. Während in den ersten Tagen die Eizahlen fast doppelt (in Versuch II 4,5fach) so hoch liegen wie in der Kontrolle, laufen die beiden Kurven um diesen „Vorsprung" versetzt bis zum 40. Tag weitgehend parallel und kreuzen sich schließlich nach 47 Tagen; die durchschnittliche Anzahl an Eiern ist zu diesem Termin fast identisch.

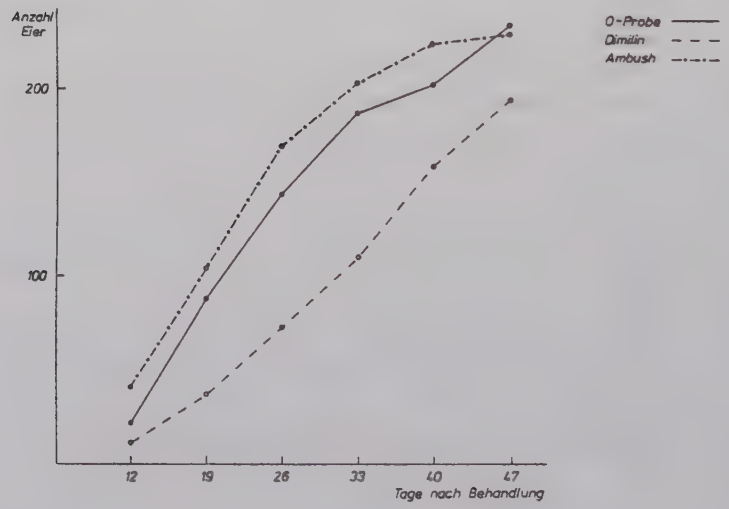


Abb. 15

Durchschnittliche Entwicklung der Eiablage nach Behandlung von F. candida mit Dimilin und Ambush

Dies bedeutet, daß durch Dimilin und Ambush in den applizierten Konzentrationen die Eiablage nicht nachhaltig beeinflußt wird, da die absolute Anzahl an Eiern nach der Beobachtungszeit von fast sieben Wochen keine großen Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungsarten aufweist; allerdings wurde der zeitliche Ablauf der Eiablage durch die beiden Insektizide beeinflußt (Abb. 16).

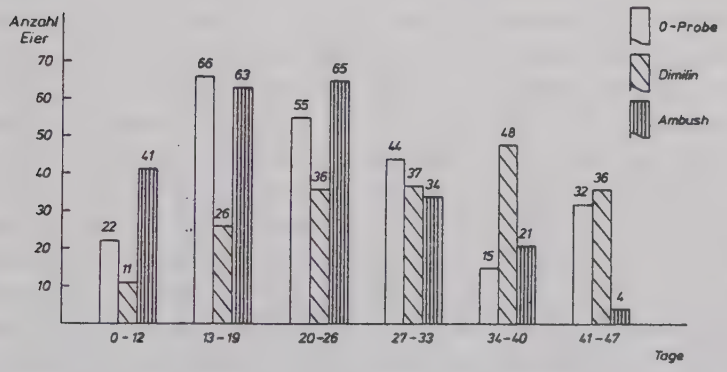


Abb. 16

Durchschnittliche Anzahl abgelegter Eier in den Beobachtungsintervallen nach Behandlung von F. candida mit Dimilin und Ambush

Bei Ambush kommt die anfängliche Stimulation zur Eiablage in einer deutlich erhöhten Säule zum Ausdruck. Die Eizahlen in den vier folgenden Behandlungsintervallen weichen dagegen kaum von der der 0-Probe ab, während im letzten Intervall eindeutig eine Verringerung festzustellen ist. Im Falle von Dimilin wird die Verzögerung der Eiablage durch die diametral zu den 0-Proben verlaufenden (schräg schraffierten) Säulen sichtbar. In den Kontrollproben ist von der 2. bis 4. Beobachtungsspanne ein Absinken, in den Dimilinproben dagegen ein

Ansteigen der Eizahlen, ab dem 5. Intervall sogar eine klare Überlegenheit gegenüber den beiden anderen Varianten zu konstatieren.

Bei der Feststellung des Schlupferfolgs der im Rahmen dieses Versuches abgelegten Eier ergaben sich hinsichtlich Ambush und Kontrolle keine Unterschiede (Tab. 16b).Unter dem Einfluß von Dimilin war die Schlüpfrate in den ersten zwölf Tagen nach der Behandlung in allen drei Versuchswiederholungen sehr stark erniedrigt, während der Schlupferfolg der später abgelegten Eier dem der 0-Probe entsprach. Eine Kontaktgiftwirkung von Dimilin (1 ppm) auf die zu Anfang auf behandeltes Substrat abgesetzten Eier - erst nach zwölf Tagen wurden die Collembolen in unbehandelte Gefäße umgesetzt - ist nach den Ergebnissen von 3.2.2. auszuschließen, nach denen selbst bei einer 10fach höheren Konzentration keine ovizide Wirkung auftrat. Da F. candida sich hier rein parthenogenetisch vermehrte, spielte bei dieser Art der Faktor Befruchtung keine Rolle. Dies kann nur bedeuten, daß die orale Aufnahme von Dimilin eine vorübergehende Störung der Oogenese hervorruft. Aus den einige Tage nach Absetzen der kontaminierten Nahrung abgelegten Eiern schlüpften denn auch in einem der 0-Probe vergleichbaren Umfang Junglarven, die sich normal weiterentwickelten.

Die mit eben geschlechtsreifen Tieren der Art T. flavescens durchgeführten Untersuchungen erbrachten im Prinzip ähnliche Ergebnisse (Tab. 17, Abb. 17): In der ersten Zeit nach der Behandlung mit Dimilin wurden verglichen mit der 0-Probe etwas weniger Eier abgelegt. Jedoch wurde dieser Rückstand nach 40 Tagen vollständig aufgeholt; nach 47 Tagen war die Eizahl in der Dimilinvariante (0,5 ppm) sogar etwas höher.

Tab. 16b : Schlupfrate (S) von Eiern behandelter Collembolen der Art F. candida (n = Anzahl beobachteter Eier)

Tage nach Behandlung		0-Probe Versuchswiederholungen I	II	III	Ø*	Dimilin Versuchswiederholungen I	II	III	Ø*	Ambush Versuchswiederholungen I	II	Ø*
0 - 12	n	150	120	110		130	27	30		250	250	
	S	25%	9%	68%	34%	4%	0%	3%	2%	49%	15%	32%
13 - 33	n	300	500	350		150	250	120		240	500	
	S	55%	30%	65%	50%	50%	34%	73%	52%	73%	26%	49%

* Durchschnittliche Schlupfrate aus den Prozentwerten der einzelnen Versuchswiederholungen errechnet.

Tab. 17: Entwicklung der Eiablage bei T. flavescens (n = 20) nach Behandlung mit Dimilin (0,5 ppm)

Tage nach Behandlung		0-Probe	Dimilin
12	a)	13	6
	b)	100 %	46 %
19	a)	39	25
	b)	100 %	64 %
26	a)	59	43
	b)	100 %	73 %
33	a)	86	78
	b)	100 %	90 %
40	a)	107	106
	b)	100 %	99 %
47	a)	165	181
	b)	100 %	110 %

a) Anzahl abgelegter Eier
b) prozentuale Anteile an der 0-Probe

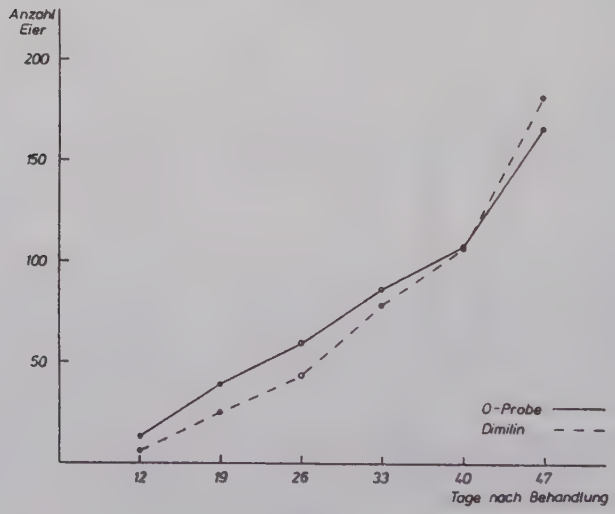


Abb. 17

Entwicklung der Eiablage bei T. flavescens nach Behandlung mit Dimilin

Das Schlüpfen der Eier war, solange die Tiere kontaminiertes Futter erhielten, fast vollständig unterbunden (Tab. 18). Nur aus einem (3 %) von 35 Eiern schlüpfte ein Jungtier. Demgegenüber betrug die Schlupfrate in der 0-Probe 54 %. Die im weiteren Versuchsablauf gelegten Eier wurden wie bei F. candida nicht durch die vorausgegangene Dimilinbehandlung beeinträchtigt.

Tab. 18

Schlupfrate (% S) von Eiern von behandelten Collembolen der Art T. flavescens (n = Anzahl beobachteter Eier)

Tage nach Behandlung		0-Probe	Dimilin
0 - 12	n	57	35
	S	54 %	3 %
13 - 47	n	305	340
	S	46 %	58 %

Der Einfluß von Dimilin auf die Eibildung konnte auch im Rahmen der Empfindlichkeitsvergleiche unterschiedlich alter Collembolen der Art T. flavescens (Kap. 3.2.1.2.) bestätigt werden. 26 von 27 Eiern, die von ca. 20 Wochen alten, in Dimilin (1 ppm) behandelten Gefäßen gehaltenen Tieren abgelegt wurden, schlüpften nicht, während in der 0-Probe die Schlüpfrate bei 46 % lag.

3.2.3.2. Oribatiden

Obwohl bei den drei untersuchten Oribatidenarten keine Störungen in der Häutungsphase juveniler Stadien nach Dimilin-

gaben aufgetreten waren, sollte durch Behandlung adulter Tiere eine eventuell mögliche Einflußnahme auf Fertilität und Fekundität der Milben ausgeschlossen werden. Hierzu wurden jeweils 2 x 30 adulte Tiere von H. gibba auf in 0,1prozentige Dimilinsuspension getauchte Grünalgen-Rindenstückchen angesetzt; 2 x 30 Tiere wurden in Gefäßen mit unbehandelter Nahrung gehalten. Nach 7 und 19 Tagen erfolgte eine Umsetzung der Tiere in neue behandelte Gefäße, wobei ebenso wie zu Versuchsende nach 32 Tagen die jeweiligen Rindenstückchen nach Eiern abgesucht wurden.

Da sowohl die Anzahl der in den Dimilinproben abgelegten Eier (Tab. 19) in der Größenordnung der 0-Probe lag, als auch in den Schlüpfraten (0-Probe 96 %, Dimilin 97 %) kein Unterschied zwischen Behandlung und Kontrolle festzustellen war, läßt sich keinerlei Einfluß von Dimilin auf die Höhe der Nachkommenschaft bei der Hornmilbe H. gibba nachweisen.

Tab. 19: Anzahl von H. gibba (n = 30) abgelegter Eier nach Behandlung mit Dimilin

Tage nach Behandlung		0-Probe			Dimilin		
		1	2	Ø	1	2	Ø
7	a)	13	11	12	19	8	14
	b)			100 %			117 %
19	a)	55	50	53	44	50	47
	b)			100 %			94 %
32	a)	59	55	57	45	55	50
	b)			100 %			91 %

a) Anzahl abgelegter Eier

b) prozentualer Anteil der durchschnittlich in den Dimilinproben abgelegten Eier an der 0-Probe

3.2.4. Repellenz

Im Freiland haben Bodentiere - da nur wenige direkt von Sprühtropfen getroffen werden - theoretisch die Chance, Bioziden auszuweichen, indem sie sich unter nicht kontaminierte Partikel zurückziehen. Hierfür ist jedoch Voraussetzung, daß diese Stoffe Repellenteigenschaften besitzen. Inwieweit diese Möglichkeit auf Dimilin und Ambush zutrifft, sollte durch Laborversuche zur Kontaktrepellenz geklärt werden.

Zu Versuchsbeginn wurden jeweils 20 adulte Collembolen der Spezies F. candida bzw. 15 adulte Milben der Art H. gibba inmitten der mit präpariertem Filterpapier ausgelegten, mit einem Gazedeckel verschließbaren Gefäße eingesetzt. Die Tiere hatten somit die Wahl, auf behandelte oder nicht behandelte Sektoren zu wandern.

Da für die weißgefärbten Collembolen schwarzes und für die dunklen Oribatiden weißes Filterpapier gewählt worden war, konnte die Verteilung der Tiere rasch überprüft werden. Die Kontrollen der in doppelter Wiederholung durchgeführten Tests erfolgten zunächst alle 15 Minuten, später in stündlichem Rhythmus. Nach 4 Stunden und 8 Stunden erfolgte eine erneute Befeuchtung der einzelnen Sektoren mit Wasser. In Abb. 18 wurde das Verteilungsmuster der Versuchstiere auf den mit Dimilin bzw. Ambush behandelten und auf den nichtbehandelten Sektoren zusammenfassend für die zwei Wiederholungen aufgezeichnet. Tiere, die sich auf der Grenze zwischen zwei Flächen befanden, wurden von der Zählung ausgeklammert, desgleichen Oribatiden, die die Gefäßwände hochkletterten.

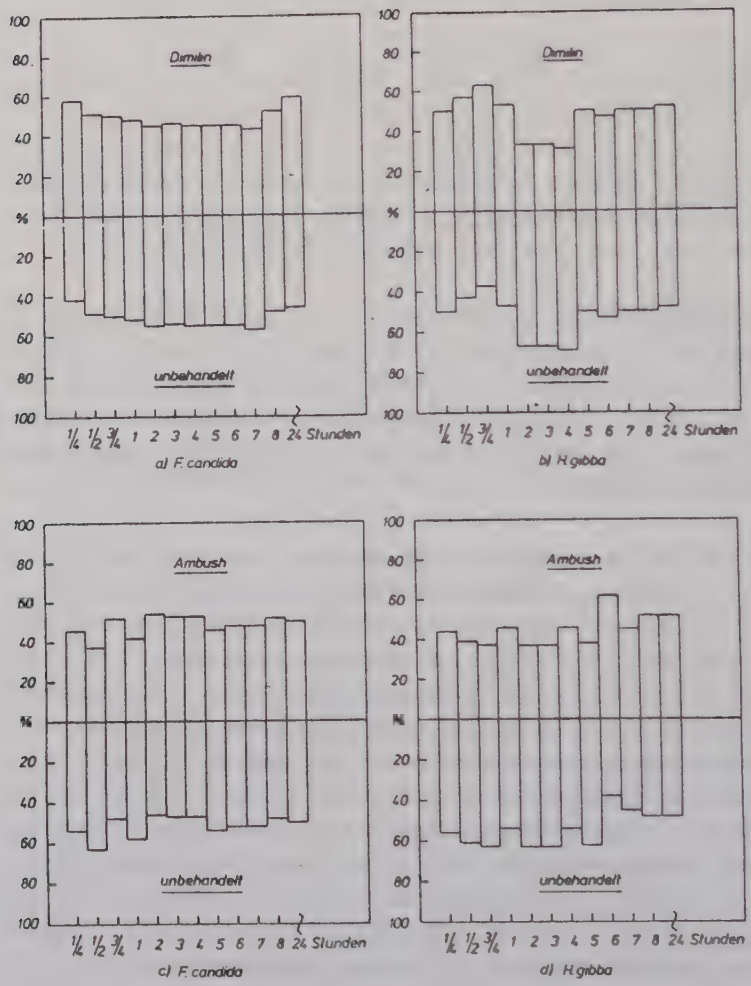


Abb. 18

Prozentuales Verteilungsmuster
der auf behandelten und unbehandelten Sektoren befindlichen Versuchstiere

Beide Arten verhielten sich hinsichtlich ihres Wahlvermögens sowohl für Dimilin (120 ppm = doppelte praxisübliche Flächendosis) als auch für Ambusch (40 ppm = doppelte Flächendosis) über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg indifferent. Auch zu Versuchsbeginn zeichnet sich keine Repellentwirkung ab. Somit sind die Tiere nicht in der Lage, die beiden Insektizide in der getesteten Konzentration sinnesphysiologisch wahrzunehmen. Bei höherer Konzentration (4000 ppm) von Ambush traten bei den Oribatiden Repellenteffekte in der Form auf, daß ein Großteil der Milben zunächst versuchte, das Filterpapier zu verlassen und die Gefäßwand emporzuklettern; dadurch war eine eindeutige Zuordnung zu den behandelten und unbehandelten Sektoren nicht mehr möglich. Doch sind im Freiland derart hohe Aufwandmengen nicht relevant.

4. FREILANDUNTERSUCHUNGEN

4.1. Standörtliche Ausgangslage

Die Freilanduntersuchungen wurden größtenteils im nördlichen Bereich des Ebersberger Forstes durchgeführt, einem im Wuchsgebiet der Münchener Schotterebene liegenden, ca. 9 qkm großen geschlossenen Waldgebiet.

Die für die längerfristigen Untersuchungen zur Populationsentwicklung der Bodentiere nach aviotechnischer Behandlung mit Dimilin und Ambush auszuwählenden Flächen sollten einerseits hinsichtlich Bestandesaufbau, Bodenvegetation, Bodentyp, Bodenart und Humusform sowie der Abundanzen von Bodentieren möglichst ähnlich sein, andererseits mußte jedoch, bedingt durch die Applikation vom Hubschrauber aus, eine relativ weiträumige Versuchsanlage in Kauf genommen werden: Wenn die eigentlichen bodenzoologischen Bestandsaufnahmen auch jeweils nur auf einer Fläche von etwa 40 x 50 m² erfolgten, so mußten dennoch Flächen von je 2 ha Größe beflogen werden, um eine gleichmäßige Abdeckung dieser Kernzonen zu gewährleisten. Zum zweiten galt es, einen Abstand von wenigstens 100 m zwischen den einzelnen Flächen einzuhalten, um eine Abdrift der Sprühmittel auf die übrigen Untersuchungsbestände auszuschließen. Aus einer Reihe von Alternativflächen wurden schließlich diejenigen ausgewählt, die nach den Bestandesanalysen und vor allem nach den Ergebnissen von Voruntersuchungen zur Dichte von Collembolen und Milben am ähnlichsten erschienen.

Bei den im folgenden mit O-Fläche I, Dimilinfläche I und Ambushfläche I bezeichneten Versuchsstandorten handelte es sich um etwa 80jährige, sehr wüchsige Fichtenbestände mit 5 % Birkenbeimischung, die mit O-Fläche II und Dimilinfläche II

bezeichneten Flächen waren reine Fichtenbestände mit einem Alter von ca. 95 Jahren, die Ambushfläche II war mit reiner Fichte (Alter 80) bestockt.

Alle 6 Flächen waren noch geschlossen mit einem Bestokkungsgrad von 0,9. Der Boden war zu etwa 90 % mit Moosen und Kräutern bedeckt, wobei Polytrichum formosum HEDW. mit einem Deckungsgrad von etwa 50 % vorherrschte. Neben den Moosen Thuidium tamariscinum (HEDW.) BR. EUR. und Pleurozium schreberi (WILD) MITTEN, waren Oxalis acetosella L., Maianthemum bifolium L., Deschampsia flexuosa (L.) TRIN., Luzula silvatica (HUDS.) GAUD., Carex silvatica HUDS., Vaccinium myrtillus L. und Dryopteris filix-mas (L.) SCHOTT sowie bereits Anflug von Picea abies (L.) KARST. zu finden.

Der Bodentyp der im Bereich der fluvioglazialen Schotter der Würmvereisung (Niederterrasse) liegenden Flächen entspricht einer Parabraunerde mit zum Teil unterschiedlich stark ausgeprägter Podsolierung; die Humusform wechselt von mullartigem Moder bis rohhumusartigem Moder.

Nach der Standortskartierung stocken die mit I benannten Flächen auf der Standortseinheit „mäßig trockene und mäßig trockene bis mäßig frische grobgeröllreiche, stark steinige sandige Lehme", während die Flächen II laut Kartierung der Standartseinheit „mäßig trockene bis mäßig frische, stark steinige sandige Lehme" zugerechnet werden müßten. Wie jedoch genauere Analysen der Bodenprofile ergaben, schwankten die Bodenverhältnisse zum Teil kleinräumig; eine deutliche Differenzierung nach den beiden Einheiten für die betroffenen Flächen ließ sich nicht aufrechterhalten.

Als Beispiel für den Bodenaufbau seien zwei Profile, eines aus der Dimilinfläche I, das andere aus Dimilinfläche II stammend, nachfolgend beschrieben.

Profil: Dimilinfläche I (siehe Abb. 19)

O_L	0,5 - 1 cm	
O_F	1 cm	mäßig zersetzt, jedoch nicht verfilzt
O_H	1 cm	mäßig bis gut zersetzt, sehr gut durchwurzelt
A_{eh}	0 - 2 cm	grauschwarz, sehr viele freie Quarzkörner, stark humos, schluffiger Lehm, locker, krümelig, gut durchwurzelt
A_{he}	2 - 4 cm	violettstichig, locker, krümelig, mit freien Quarzkörnern, gut durchwurzelt
A_l	4 - 19 cm	gelbbraun, mäßig locker, kiesig, schluffiger Lehm, gut durchwurzelt, subpolyedrisch
B_t	19 - 30 cm	braun, kiesig, Lehm, mäßig dicht, durchwurzelt, subpolyedrisch
$II_{(r)}B_{tv}$	30 - 52 cm	rotbraun, stark kiesig, stark toniger Lehm, mäßig dicht, durchwurzelt, subpolyedrisch-polyedrisch
B_v	52 - 78 cm	stark grobkiesig, mäßig dicht, glimmerreich, stark toniger Lehm, rotbraun, mit am Übergang zum nächsten Horizont deutlicher Wurzelanreicherungszone, in Taschen tiefergehend
C_v	78 - Profilsohle	hellgrau, schwach lehmig, sandiger Kies, stark carbonathaltig, wurzelfrei

Bodentyp: podsolige Parabraunerde mit Anzeichen von Rotlehmeinfluß im Unterboden

Humusform: rohhumusartiger Moder

Profil: Dimilinfläche II (siehe Abb. 20)

	O_L	0,5 - 1 cm	
	O_F	1,5 cm	locker, durchwurzelt
	O_H	0,5 cm	gut zersetzt, mit einzelnen freien Quarzkörnern
	A_{eh}	0 - 1,5 cm	schwarzgrau mit leichtem Violettstich, sehr viele freie Quarzkörner, stark humos, schluffig, gut durchwurzelt, locker, feinkrümelig
	A_{he}	1,5 - 8 cm	violettstichig, dunkelgrau, humos freie Quarzkörner, schwach Kies führend, stark schluffiger Lehm, mäßig locker, subpolyedrisch, durchwurzelt
	A_{ehl}	8 - 14 cm	graubraun, leicht violettstichig, mäßig dicht, schwach sandig, schluffiger Lehm, durchwurzelt
	A_l	14 - 23 cm	gelblich braun, schwach kiesig, sandig schluffiger Lehm, mäßig dicht, schwach durchwurzelt, subpolyedrisch
II	A_LB_t	23 - 34 cm	stark kiesig, schwach sandiger Lehm, subpolyedrisch bis polyedrisch, sehr gering durchwurzelt, braun
	B_t	34 - 56 cm	sehr dicht, stark kiesig, sandiger Lehm, subpolyedrisch bis polyedrisch, rötlich braun
	B_{tv}	56 - Profilsohle	rötlich braun, stark grobkiesig, sandiger Ton, sehr gut durchwurzelt, dicht, polyedrisch

Bodentyp: podsolierte Parabraunerde

Humusform: reiner Moder

Abb. 19:

Bodenprofil aus Dimilinfläche I; podsolige Parabraunerde mit Anzeichen von Rotlehmeinfluß im Unterboden

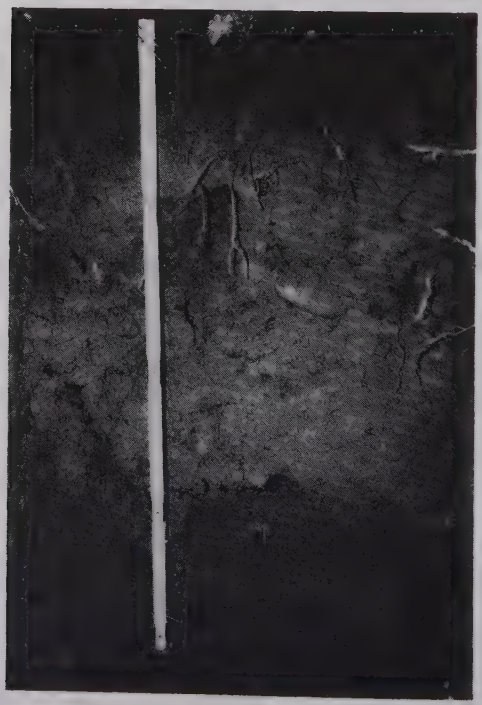


Abb. 20:

Bodenprofil aus Dimilinfläche II; podsolierte Parabraunerde

Etwa 500 m entfernt von dem eben beschriebenen Versuchsareal wurden 1983 weitere Versuchsflächen angelegt, die hinsichtlich Bestandesform, Bodentyp und Bodenvegetation gut vergleichbar waren. Es handelt sich hierbei zunächst um vier Flächen von je 100 x 150 m für die Untersuchungen zum Nachweis direkter Dimilinschädigungen bei Collembolen sowie zur Ermittlung von Rückständen im Regenwasser. Diese Flächen werden nach der applizierten Aufwandmenge an Dimilin benannt: 300-g-, 100-g- und 30-g-Fläche sowie O-Fläche III. Unmittelbar im Anschluß an die O-Fläche III lagen schließlich je 10 m² große Parzellen), die für kurzfristige Mortalitätsbeobachtungen an Collembolen mit dem Handsprühgerät behandelt wurden.

Persistenzuntersuchungen mittels Biotest wurden teilweise im Forstenrieder Park durchgeführt, der im Südsüdwesten Münchens liegt. Die 400 m² umfassende Probefläche lag in einem 60jährigen Fichtenbestand. Auf 3 cm mächtigem, rohhumusartigem Moder herrschten in fast geschlossener Decke Polytrichum formosum (HEDW.) und Pleurozium schreberi (WILLD.) vor.

Einzelne Versuche, die von der Anlage her vollkommen standortsunabhängig waren, wurden im Gefolge der an verschiedenen Orten Bayerns durchgeführten Bekämpfungsmaßnahmen unternommen. Eine Standortsbeschreibung erübrigt sich in diesen Fällen.

4.2. Witterung

Die längerfristigen bodenzoologischen Untersuchungen erstreckten sich teilweise über fast zwei Jahre von Mai 1981 bis März 1983. Die Verteilung der Monatswerte[1] der mittleren Temperatur und Niederschläge ist in Abb. 21 wiedergegeben. Im Versuchsjahr 1981[2] betrugen die Niederschläge mit 1111 mm 122 % des langjährigen Mittels, die Lufttemperatur lag mit 8,2 °C um 0,3 °C über dem Normalwert. Der Monat Mai, in dem die Hubschrauberapplikation (15. Mai 1981) erfolgte, entsprach von der Temperatur dem vieljährigen Durchschnitt, die Niederschläge lagen 10 % darüber[3]. 1982[2] war ein relativ warmes Jahr, dessen Durchschnittstemperatur (8,6 °C) den vieljährigen Wert um 0,7 °C überstieg, während die Niederschläge mit 864 mm um 5 % unter dem Normalwert lagen. Sämtliche Klimadaten sind dem monatlichen Witterungsbericht bzw. dessen Beilage für den Wetteramtsbereich München (Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes) entnommen.

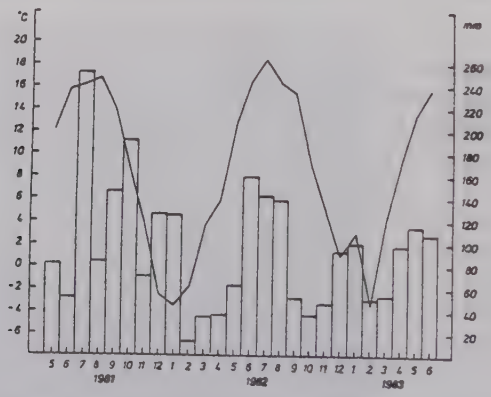


Abb. 21: Mittlere Temperatur und Niederschläge im Versuchszeitraum

1) Station Ebersberg

2) Station München-Nymphenburg

3) Station München-Riem (für Ebersberg liegen keine langjährigen Vergleichswerte vor)

4.3. Applikation

4.3.1. Allgemeines

Vor jeder Applikation wurde neben jeder einzelnen der markierten Probestellen eine Glasplatte zur Kontrolle der Dichte des Sprühniederschlages ausgelegt (genaue Beschreibung bei 4.4.1.1.).

4.3.2. Hubschrauberapplikation

Die Applikationen erfolgten mit Hubschraubern des Typs Bell 47 bzw. Bell 47 T. Die kleinere Bell 47, über einen Kolbenmotor angetrieben, hat eine Leistung von 300 PS und ein Sprühmittel-Fassungsvermögen von 320 l. Die Bell 47 T (400 PS) ist mit einer Turbine ausgestattet, ihr Sprühmitteltank faßt 400 l. Beide Maschinen sind mit einem 15 m breiten Sprühgestänge gerüstet, an welchem Düsen mit Drallkörpern angebracht sind. Unter Verwendung von D_4-Düsen und einem Arbeitsdruck von 3 bar wird pro Düse in der Minute ein Liter Spritzbrühe zerstäubt. Nach Angabe des Piloten erfolgt die Ausbringung bei einer Fluggeschwindigkeit von 60 km/h und in einer Flughöhe von 3 - 8 m über der Krone, wobei die einzelnen Bahnen mit einer Überlappung von etwa 5 m geflogen werden. Diese Überlappung führt zu einer Doppelapplikation der 5 m breiten Randstreifen jeder Bahn, während der Mittelstreifen nur einmal überflogen wird. Die Breite des Sprühschleiers ist allerdings nicht identisch mit der Breite des Sprühgestänges. Sie hängt unter anderem ab von der Flughöhe über dem Bestand und von der Fluggeschwindigkeit (MOORE, 1966; VON OHEIMB, 1968). Unter den obengenannten Bedingungen wird jedenfalls mit einer für den Bekämpfungserfolg hinreichend gleichmäßigen Verteilung des Sprühschleiers im Kronenraum gerechnet. Alle Befliegungen fanden auch insofern unter Praxisbedingungen statt, als nur bei Windstille zu Zeiten ohne Thermik, also vor allem in den Morgen- und Abendstunden beflogen wurde.

Die Ausbringung der Insektizide erfolgte ebenfalls wie praxisüblich in 40 l Wasser pro ha. Wenn nicht anders angegeben, handelt es sich bei Dimilin um die normale Hektaraufwandmenge von 300 g. Ambush wurde in einer Aufwandmenge von 100 ml in 40 l Wasser pro ha appliziert.

4.3.3. Bodenapplikation

Im Gegensatz dazu wird bei der Applikation mit Bodengeräten der Wirkstoff in einer sehr viel größeren Menge Wasser pro ha versprüht. Hier wurde Dimilin mit einem Handsprühgerät bzw. mit einem motorisierten Rückensprühgerät jeweils in 200 l Wasser pro ha ausgebracht.

4.4. Zur Quantifizierung und Persistenz des Dimilinniederschlages

4.4.1. Material und Methode

4.4.1.1. Erfassung von Makrotröpfchen

Zunächst war zu prüfen, wie groß der Anteil der aviotechnisch ausgebrachten Sprühmittel ist, der nicht in seinem eigentlichen Ziel, dem Kronenbereich, verbleibt, sondern den Boden erreicht. Dazu wurde neben jeder der vorher festgelegten und farbig markierten Probeentnahmestellen eine Glasplatte ausgelegt. Die darauf niedergegangenen und eingetrockneten Tröpfchen wurden in einem 16 cm² großen Ausschnitt der Probeplatten unter dem Aufsichtmikroskop bei 25facher Vergrößerung ausgezählt. Zusätzlich zu dieser Erfassung in den gleichmäßig bestockten Flächen Dimilin I und II sowie Ambush I und II wurden Kontrollplatten ausgelegt

- in einem benachbarten, vergleichbaren Fichtenbestand an völlig überschirmten Stellen sowie in Bestandeslücken
- auf einer Freifläche ohne Überschirmung.

Die Applikation über diesen Flächen erfolgte unter identischen Bedingungen.

4.4.1.2. Erfassung von Mikrotröpfchen

Zwei Wege wurden beschritten, um herauszufinden, ob über diese optisch erfaßten Tröpfchen hinaus mit weiterem biologisch aktivem Niederschlag in Form von Mikrotröpfchen zu rechnen ist. Einmal wurden der Spritzbrühe Sporen von Bazillus thuringensis zugesetzt (10^7/ml, isoliert aus dem Handelspräparat „Dipel" und auf einem Casein-Pepton-Fleischextrakt-Medium gezüchtet). Der so markierte Sprühniederschlag wurde in mit Standard-I-Nähragar (unter Zusatz von 0,06 g sterilgefiltertem Penicillin/100 g) ausgegossenen Petrischalen aufgefangen. Diese Applikation erfolgte am 20. Juli 1982 abends bei einer Temperatur von 25 °C und 60 % Luftfeuchtigkeit. Die Petrischalen wurden bei 27 °C bebrütet. Die Anzahl der Kolonien auf einem Schalenausschnitt von 16 cm² wurde nach 25 und 48 Stunden ermittelt.

Der zweite Versuch wurde unter Ausnutzung der nach dem STOKESschen Gesetz unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeit verschieden großer Tröpfchen angelegt. Hierzu wurden die üblichen Gipsboden-Versuchsgefäße abgedeckt auf einer Freifläche aufgestellt. In Intervallen zwischen zunächst 30 und danach 60 Sekunden nach Überfliegen des Hubschraubers wurden die Gefäße der Reihe nach geöffnet und wieder geschlossen. Dieser Versuch wurde am 27. Juli 1982 unter folgenden Witterungsbedingungen durchgeführt:

Versuchswiederholung I: 15 °C, 95 % Luftfeuchte, 12.00 Uhr
Versuchswiederholung II: 21 °C, 60 % Luftfeuchte, 14.15 Uhr
Versuchswiederholung III: 16 °C, 60 % Luftfeuchte, 16.45 Uhr

In die so kontaminierten Gipsbodengefäße wurden je 30 Exemplare Folsomia candida eingesetzt und über 14 Tage beobachtet.

Bei beiden Versuchen dienten gleichzeitig mit den Versuchsgefäßen geöffnete und wieder abgedeckte Glas-Petrischalen der Kontrolle der Makrotröpfchen.

4.4.1.3. Erfassung von Dimilinrückständen mittels Biotest

Zur Quantifizierung des Dimilinniederschlages im engeren Sinne wurde das Nachweisverfahren des Biotests herangezogen. Über die Beobachtung von Häufigkeit und Umfang definierter Schädigungen an geeigneten Testtieren wird auf die Menge des verursachenden Wirkstoffes geschlossen.

Zunächst wurde der von BARTH (1981) beschriebene Dimilin-Biotest mit der Stubenfliege Musca domestica L. verwendet und zu einem noch empfindlicheren Nachweisverfahren weiterentwickelt. Ergänzend dazu wurde ein Dimilinnachweis mittels zweier Collembolenarten versucht.

4.4.1.3.1. Modifizierter Biotest mit Musca domestica L.

Zur Gewinnung des Probenmaterials wurde an den markierten Entnahmestellen ein Ring, welcher eine Fläche von 200 cm² umfaßte, auf den Waldboden gelegt und mit einem Messer umstochen. Die außerhalb des Ringes gelegene Streu wurde etwas beiseitegerückt, so daß ein Zylinder stehen blieb, von dem die 0,5 bis 1 cm mächtige L-Lage des rohhumusartigen Moders zusammen mit dem Bewuchs (einheitlich Polytrichum formosum) schichtweise abgelöst wurde.

Für die praktische Anwendung des Biotests muß Dimilin aus dem zu untersuchenden Probematerial eluiert werden.

Da seine Löslichkeit in Wasser mit nur 0,2 ppm sehr begrenzt ist, wurde in Abwandlung des von BARTH vorgeschlagenen Verfahrens Aceton (Löslichkeit: 0,65 g Dimilin/100 ml) als organisches Lösungsmittel gewählt. Die Proben wurden mit einer aliquoten Menge Aceton versetzt und gut durchmischt. Die aus dem Material gepreßte Flüssigkeit wurde über Gaze abfiltriert und auf 1 g Cellulose p. a. getropft. Auf diese Weise konnte verhindert werden, daß Diflubenzuron nach dem Verdampfen des Lösungsmittels in lange Kristalle erstarrte. Durch Adsorption an die feinen Cellulosepartikel konnte der Wirkstoff wieder in mikrokristalliner Form - von dieser hängt die insektizide Wirkung ab - erhalten werden.

Für den eigentlichen Biotest wurde eine Zucht der Stubenfliege Musca domestica aus einem definierten WHO-Stamm aus Pavia aufgebaut. Haltung und Züchtung erfolgten im wesentlichen in der von BARTH angegebenen Weise. Der Dimilinnachweis selbst unterschied sich lediglich dadurch, daß Dimilin an Cellulose adsorbiert in das Biotest-Medium gemischt wurde. In dieses bei 28 °C bereits 48 Stunden vorfermentierte Medium wurden jeweils 30 zwei Tage alte Maden eingesetzt. Reaktionskriterium für den Nachweis von Dimilin war das Auftreten von charakteristischen Mißbildungen an den Tönnchenpuppen. Anhand verschiedener Versuchsreihen wurden die Grenzkonzentrationen, die mit den von BARTH ermittelten Werten in etwa übereinstimmten, bestimmt. Demnach traten in der Regel bei einer Konzentration im Medium, die unter 0,05 ppm (= 0,0125 ppm Wirkstoff) lag, keine Mißbildungen auf. Bei einer Konzentration zwischen 0,05 bis 0,5 ppm war ein steigender Anteil deformierter Puppen zu finden; über 0,5 ppm (= 0,125 ppm Wirkstoff) zeigten zumeist alle Puppen Dimilin-Schädigungen. Da im einzelnen geringe Abweichungen möglich waren, wurde bei jeder Biotestserie

neben einer 0-Probe auch eine kleine Konzentrationsreihe zur ständigen Kontrolle angesetzt. Erfolgt bei der Ergebnisdarstellung kein Hinweis auf diese Eichung des Tests, so ist davon auszugehen, daß sich die Werte im genannten Rahmen bewegen. Auch auf Angaben zur 0-Probe kann verzichtet werden, da in keinem Fall mißgebildete Puppen zu finden waren.

4.4.1.3.2. Biotest mit Collembolen

Für spezielle Fragestellungen wurde ein Dimilinnachweis mit den Arten Folsomia candida und Isotomiella minor geführt.

Zwar eignet sich der Test mit M. domestica gut zum Vergleich unterschiedlichen Probematerials: Der Wirkstoff kann aus Boden, Streumaterial, herbstlichem Blattabfall o. ä. gleichermaßen eluiert werden. Je geringer aber die nachzuweisende Menge ist, desto größer muß der Umfang des Probematerials sein, selbst wenn die Ausbeute an Wirkstoff bei der Elution durch die Wahl von Aceton als Lösungsmittel erhöht wird.

Wenn Probematerial nur in geringer Menge gewonnen werden kann (z. B. aus übereinanderliegenden Streuschichten), bietet sich an, kontaminiertes Material direkt an hochempfindliche Arten zu verfüttern. Voraussetzung ist allerdings eine homogene Wirkstoffverteilung. Eine solche kann angenommen werden etwa bei der Untersuchung der Frage, ob Regenwasser nach Dimilinapplikation wirksame Mengen aus dem Kronendach abwaschen kann.

Im einzelnen wurde der Test wie folgt durchgeführt. Je Ansatz wurden 30 eben geschlechtsreif gewordene Zuchttiere bei 18 °C und konstanter Feuchtigkeit in Gipsbodengefäßen gehalten und mit Streupartikeln gefüttert, die aus der zu untersuchenden Streuschicht stammten, bzw. wurden Gipsböden und unbehandelte Streupartikel mit dem zu untersuchenden Regenwasser getränkt.

Durch Beobachtung der Versuchstiere hinsichtlich typischer Dimilinschädigungen bei der Häutung sollten Rückstände von Dimilin im zu untersuchenden Probematerial sichtbar gemacht werden. Aufschlüsse über die Rückstandsmengen in den Proben liefern die in 3.2.1.1.1. errechneten Regressionsgeraden der beiden Arten. Die LC_{50}-Werte lagen für F. candida bei 0,54 ppm und für I. minor bei 0,028 ppm.

4.4.2. Ergebnisse zur Quantifizierung

4.4.2.1. Verteilung des Sprühniederschlages im Bestand

In Tab. 20 sind die Ergebnisse der optischen Erfassung des Sprühniederschlages auf Glasplatten zusammengefaßt. Wie sich zeigte, blieb in den Versuchsbeständen (Dimilinflächen I und II, Ambushflächen I und II) der weitaus größte Teil des Sprühschleiers in den Kronen haften. Durchschnittlich nur noch 10 bis 18 % des Sprühbelags der unbeschirmten Freifläche gelangte hier auf die Bodenoberfläche.

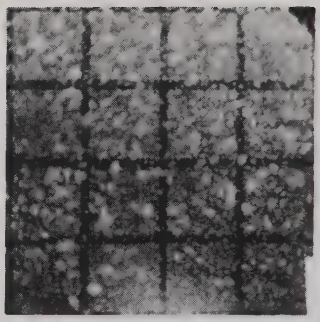
Tab. 20: Verteilung von Sprühtröpfchen nach Hubschrauberapplikation

	Freifläche	Lücke im Kronendach	unter Schirm	Dimilinfl. I.	Dimilinfl. II.	Ambushfl. I.	Ambushfl. II.
Anzahl Kontrollplatten	7	3	7	26	28	30	29
Tröpfchen/cm²							
Mittelwert $\bar{x}$	8,3	3,0	0,4	1,5	0,8	1,3	1,0
Streuung s	9,1	2,4	0,6	1,2	0,9	1,6	1,3
Minimum-Maximum	5,4 - 11,2	0,6 - 5,4	0,06 - 1,3	0,06 - 4,4	0,00 - 3,6	0,06 - 6,8	0,00 - 5,9
% zu Freifläche	100	36	5	18	10	16	12

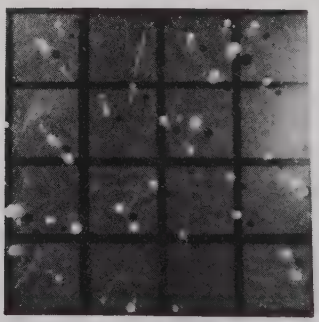
Die Ausfilterung lag damit größenordnungsmäßig zwischen den Werten „unter Schirm" in Tab. 20 mit 5 % und „Lücke im Kronendach" mit 36 % und zeigt somit eine Mischung aus beiden Komponenten an. Es war zu erwarten, daß die Anzahl der auf den Boden gelangenden Tröpfchen bei völliger Überschirmung (0,4 Tr./cm²) sehr gering und in Bestandeslücken (3,0 Tr./cm²) sehr viel höher sein würde. Wenn der Sprühbelag an nicht überschirmten Stellen innerhalb des Bestandes jedoch weitaus spärlicher als auf der Freifläche (8,3 Tr./cm²) außerhalb ausfiel, so liegt dies sicherlich daran, daß hier auch die Ausfilterung durch die Randbäume noch eine gewisse Rolle spielte.

4.4.2.2. Sprühbilder bei Applikation mit Hubschrauber bzw. Handsprühgerät

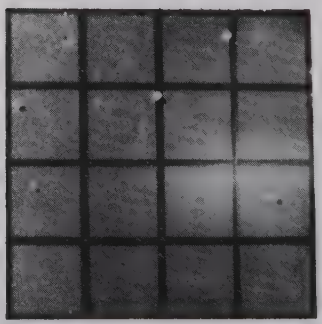
Typische Sprühbilder, die aus etwa 35 - 40 m Höhe erhalten werden, sind in den Fotos in Abb. 22 wiedergegeben. Während unter nicht überschirmten Stellen im Bestand immerhin noch wenige Tröpfchen/cm² vorzufinden sind, gelangt in überschirmten Partien in der Regel nur noch ein Bruchteil davon zu Boden. Völlig anders stellen sich Sprühbilder nach Ausbringung mit einem Handsprühgerät dar, zumal für eine flächige, gleichmäßige Applikation eine wesentlich größere Wassermenge erforderlich ist. Auf dem in Abb. 22 dargestellten Sprühbelag, mit 200 l Wasser/ha erzielt, läßt sich eine bestimmte Tröpfchenzahl/cm² nicht angeben, da die einzelnen Tröpfchen ineinander überfließen. Die Wahrscheinlichkeit, bei einem derartigen Belag kontaminierte Nahrung aufzunehmen, ist daher für Oberflächenbewohner wie zum Beispiel dem Collembolen T. flavescens wesentlich größer als nach Hubschrauberapplikation. Daher wurde in dieser Arbeit, wie eingangs schon erläutert, auch großes Gewicht auf Freilanduntersuchungen unter praxisnahen Ausbringungsbedingungen gelegt.



Applikation mit Handsprühgerät direkt auf den Boden (Wasseraufwandmenge 200 l/ha)



Applikation mit Hubschrauber (Wasseraufwandmenge 40 l/ha), Sprühbelag aus nicht überschirmtem Bestandesteil, ca. 2,9 Tröpfchen/cm²



Applikation mit Hubschrauber (Wasseraufwandmenge 40 l/ha), Sprühbelag aus überschirmter Partie (ca. 0,4 Tröpfchen/cm²)

Abb. 22

Sprühbilder nach Ausbringung von Dimilin, 300 g/ha

4.4.2.3. Mikrotröpfchen

Die Versuche zum Nachweis von Mikrotröpfchen im Sprühbild einer Hubschrauberapplikation erbrachten negative Befunde. Die an fünf Stellen im Bestand ausgelegten Agarplatten wiesen zwei Tage nach Bebrütung keine großen Unterschiede der Tröpfchendichte im Vergleich zu parallel ausgelegten Glasplatten auf. Wenn auch in vier von fünf Proben (Tab. 21) die Agarplatten eine etwas größere Anzahl Tröpfchen sichtbar zu machen schienen, so kann doch nicht mit einer flächigen Abdeckung mit Mikrotröpfchen gerechnet werden.

Tab. 21: Versuch des Nachweises von Mikrotröpfchen mittels Bazillus thuringensis

Probestellen	1	2	3	4	5	Ø
Anz. Tr./cm²						
a) Petrischale	1,7	1,9	0,8	1,6	1,2	1,4
b) Agarplatte	1,9	1,4	1,6	1,9	1,7	1,7
b)/a) in %	112	74	200	119	142	121

Auch die Versuche mit F. candida als Testtier bestätigten dieses Resultat. Auf Dimilin rückführbare Mortalität trat lediglich in den Gefäßen ein, die zum Zeitpunkt des Niedergangs von Makrotröpfchen geöffnet war (Tab. 22 . Dies war generell in den Töpfen der Fall, die während der ersten

Tab. 22: Anzahl an Sprühtröpfchen (Tr./cm²) und Mortalität (%) von F. candida (jeweils n = 30) während einzelner Applikationsintervalle (min.)

Versuchswiederholung	min.	0 - 1/2	1/2 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	1 - 5	0-Probe
I	Tr./cm²	23,8	2,2	0	0	0	0	0	-
	Mortalität	96 %	56 %	0 %	3 %	0 %	0 %	0 %	0 %
II	Tr./cm²	17,3	0,04	0	0	0	0	0	-
	Mortalität	91 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
III	Tr./cm²	4,9	0,6	0	0	0	0	0	-
	Mortalität	94 %	32 %	3 %	0 %	0 %	0 %	3 %	3 %

30 Sekunden nach Auftreffen des Niederschlags am Boden offenstanden, in den Versuchswiederholungen I und III zudem in den Gefäßen, die in der anschließenden halben Minute offengehalten wurden. Nach einer Minute war auf den dabei geöffneten Kontrollplatten kein Belag mehr erkennbar; dementsprechend war bei den Testtieren auch keine Reaktion auf Dimilin zu bemerken.

Da davon ausgegangen wurde, daß winzige Tröpfchen aus einer Flughöhe von ca. 30 m eine langsamere Sinkgeschwindigkeit als größere Tropfen aufweisen, kann aus den Versuchswiederholungen geschlossen werden, daß entweder keine Mikrotröpfchen den Boden erreichen oder aber, daß von diesen eine insektizide Wirkung auf Arten nicht zu befürchten ist, die von ähnlicher oder geringerer Empfindlichkeit gegenüber Dimilin sind wie F. candida.

4.4.3. Ergebnisse zur Persistenz

4.4.3.1. Persistenz auf dem Waldboden

Da die Belagsdichte von Dimilin am Boden bei Hubschrauberapplikation, bedingt durch die unterschiedliche Überschirmung, großen Streuungen unterliegt, wurden für Persistenzuntersuchungen in bestimmten zeitlichen Abständen aus der Dimilinfläche I (Ebersberg, 1981) eine größere Anzahl (n = 15) Proben entnommen, um ein für die Fläche repräsentatives Bild vom Dimilin-Abbau zu erhalten. Die Probeentnahme erfolgte einheitlich an Stellen, die mit P. formosum bestockt waren, wobei die 0,5 - 1 cm mächtige L-Lage des rohhumusartigen Moders zusammen mit dem Moos innerhalb des Proberinges abgehoben wurde.

Tab. 23 gibt einen Überblick der Biotestergebnisse mit Musca domestica, wobei der Anteil mißgebildeter Tönnchenpuppen das Reaktionskriterium für den Dimilinnachweis darstellt.

Als Beweis für die unterschiedliche Bodenbelastung mit Dimilin ist die große Streuung innerhalb von 15 in gleicher Weise für den Biotest aufbereiteten Proben (z. B. 0 - 100 % mißgebildete Puppen in einer Probenserie) zu sehen.

Was den Abbau von Dimilin betrifft, so läßt es sich mit zunehmendem Abstand vom Behandlungszeitpunkt in immer weniger Proben nachweisen. Während nach vier Tagen noch in 93 % und nach 27 Tagen (4 Wochen) noch in 67 % der Proben Dimilin gefunden wurde, konnte nach 55 Tagen (8 Wochen) lediglich noch in 29 % der Proben und nach 95 Tagen überhaupt kein Dimilinnachweis mehr erbracht werden.

Tab. 23: Dimilinnachweis mittels Biotest zur Persistenz auf Waldboden nach Hubschrauberapplikation. Angegeben sind die prozentualen Anteile mißgebildeter Puppen von M. domestica aus 15 Einzelproben

Tage nach Applikation	Prozentualer Anteil mißgebildeter Puppen in 15 Einzelproben																Dimilinnachweis in	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	ø 1 - 15	n Proben	% Proben
4	48	8	37	0	73	6	23	87	54	4	30	100	88	85	81	48	14	93 %
27	0	80	100	0	33	54	4	4	0	96	50	78	0	100	0	40	10	67 %
55	0	0	0	39	4	0	0	0	0	17	0	3	0	0	32	6	5	33 %
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Der durchschnittliche Anteil an mißgebildeten Tönnchenpuppen nahm vom vierten Tag mit 48 % zum 27. Tag nach Behandlung mit 40 % nur geringfügig, zum 55. Tag dann allerdings stärker (6 %) ab.

Während in der vom Hubschrauber aus behandelten Fläche Dimilin auf dem Waldboden also etwa 8 Wochen persistent war, ließ sich nach Applikation der gleichen Wirkstoffmenge mit dem motorisierten Rückensprühgerät direkt auf den Boden die Wirkung des Präparats noch nach 7 Monaten nachweisen (Tab. 24).

Tab. 24: Dimilinnachweis mittels Biotest zur Persistenz auf Waldboden nach Applikation mit Rückensprühgerät. Angegeben sind die prozentualen Anteile mißgebildeter Puppen von M. domestica

Tage nach Applikation	1	15	27	62[1)]	130[2)]	180	210	360
Probe 1	100	39	71	8	42	0	14	0
Probe 2	100	70	42	54	57	64	-	0
ø 1 + 2	100	54,5	56,5	31	45,5	32	14	0

1) Nachweisgrenze bei 0,1 ppm
2) Nachweisgrenze bei 0,01 ppm

Um auch zu Aussagen hinsichtlich der Persistenz von Dimilin auf blankem Waldboden zu gelangen, wurde aus der aviotechnisch behandelten Fläche neben Proben, die mit Moos bestockt waren, auch Material entnommen, das keinen pflanzlichen Bewuchs aufwies. Da solche Probestellen in der Dimilinfläche I rar waren, konnte zu den verschiedenen Terminen nur jeweils eine geringe Anzahl (2 - 3) Proben entnommen werden, so daß wegen der großen Streuung eine für die Fläche repräsentative Aussage nicht möglich ist. Dennoch zeigen die Ergebnisse der Tab. 25 auch für Streumaterial ohne Vegetations-

decke eine mindestens vier Wochen (27 Tage) nachweisbare Belastung mit Dimilin.

Tab. 25: Dimilinnachweis mittels Biotest zum Vergleich der Persistenz auf Fichtenstreu mit und ohne Bewuchs. Angegeben sind die prozentualen Anteile mißgebildeter Puppen von M. domestica

Tage nach Applikation	Proben mit Moosbewuchs				Proben ohne Bewuchs			
	1	2	3	ø	1	2	3	ø
1 1)	100	100	-	100	100	11	-	55,5
8	20	100	42	54	100	62	0	54
27	100	14	0	38	-	46	52	49
55	0	32	0	10,7	0	0	0	0

1) Nachweisgrenze bei 0,01 ppm

4.4.3.2. Eindringvermögen in den Boden

BARTH konnte Dimilin nur in der Streuauflage, dagegen nicht in tieferen Bodenschichten, nachweisen. Auch die eigenen Untersuchungen weisen darauf hin, daß Dimilin nicht in tiefere Lagen verfrachtet wird. Die Versuche wurden zum einen in der Fläche „Forstenried" (Bodenapplikation mit Rükkensprühgerät), zum anderen in der Dimilinfläche I (Ebersberg, 1981, Hubschrauberapplikation) durchgeführt. Nach der Behandlung wurde für den Biotest mit M. domestica in verschiedenen zeitlichen Abständen aus jeder Fläche von jeweils zwei Probestellen Material entnommen. Wie aus Tab. 26 hervorgeht, konnte Dimilin ausschließlich in der L-Lage, in keinem Fall in der F- oder gar H-Lage nachgewiesen werden.

Tab. 26: Dimilinnachweis mittels Biotest mit M. domestica in verschiedenen Streuschichten und zu verschiedenen Zeitpunkten nach Applikation a) mit Rückensprühgerät, b) mit Hubschrauber. Angegeben sind die prozentualen Anteile mißgebildeter Puppen

Applikation	Lage	Tiefe in cm	Zeit nach Applikation											
			1 Tag		8 Tage		15 Tage		1 Monat		2 Monate		4 Monate		6 Monate	
a) Rücken-sprüh-gerät	O_L	0 - 1	100	100			39	95	69	* 42	8	* 54	58	65	4	64
	O_F	- 2	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O_H	- 3	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b) Hub-schrauber	O_L	0 - 1	100	100	100	42			100	* 14	0	32				
	O_F	- 2	0	0	0	0			0	0	0	0				
	O_H	- 3	0	0	0	0			0	0	0	0				

* Nachweisgrenze 0,1 ppm

In einem Parallelversuch zur Frage des Eindringvermögens von Dimilin in den Boden wurde der in 4.4.1.3.2. geschilderte Biotest mit dem hochempfindlichen Collembolen Isotomiella minor herangezogen und so gleichzeitig die Anwendbarkeit dieser Methode überprüft.

An zwei überschirmten Probestellen wurden 6 Tage nach Applikation (nach dem ersten Starkregen mit 18 mm Niederschlag) und 19 Tage nach Applikation (mit zwischenzeitlich weiteren Regenfällen) aus der Streuschicht in verschiedenen Tiefen jeweils einige Krümel entnommen und an I. minor (n = 30) verfüttert.

Auch bei den Tests mit I. minor wird deutlich, daß Dimilin vor allem in der obersten Streulage bzw. auf der Bodenvegetation zu finden ist, wenn auch einzelne dimilingeschädigte Collembolen in den Proben aus 1 - 2 cm (Probe I) und 2 - 3 cm Tiefe (Proben III und IV) auftraten (Tab. 27). Die Schlußfolgerung, daß Dimilin mit dem Regen einer sukzessiven

Auswaschung unterliegt, kann aber nur bedingt gezogen werden, da es sich bei den geschädigten Tieren um Einzelexemplare handelte, die möglicherweise über eine Verunreinigung der Proben aus der obersten Streulage mit Dimilin in Berührung gekommen waren.

Tab. 27: Dimilinnachweis mittels Biotest mit I. minor in verschiedenen Streuschichten 6 Tage (Probestellen I und II) sowie 19 Tage (Probestellen III und IV) nach Hubschrauberapplikation. Angegeben sind die prozentualen Anteile an Tieren mit Häutungsstörungen (jeweils n = 30)

Tiefe in cm	Probestelle			
	I[1]	II[1]	III[2]	IV[2]
Vegetation	- -	- -	- -	Moos 40 %
0 - 1	O_L 100 %	O_L 10 %	O_L 53 %	O_L 40 %
1 - 2	$O_{L/F}$ 7 %	O_F 0 %	O_F 0 %	O_F 40 %
2 - 3	O_F 0 %	O_H 0 %	O_F 3 %	O_H 3 %
3 - 4	O_F 0 %	- -	O_H 0 %	- -
4 - 5	O_H 0 %	- -	- -	- -
0-Probe	0 %		0 %	

1) nach Niederschlägen von 16 mm

2) nach weiteren Niederschlägen von 8 mm

4.4.3.3. Rückstände im Regenwasser

Theoretisch bestehen zwei Möglichkeiten einer weiteren Belastung des Bodens nach Hubschrauberapplikation. Einmal ist es denkbar, daß Dimilin aus dem Kronenraum durch Regen abgewaschen wird. Zum zweiten wäre bei der bekannten langen Persistenz von Dimilin (SKATULLA, 1975) damit zu rechnen, daß mit dem herbstlichen Abfall von Kronenmaterial nochmals Dimilin auf den Boden gelangt.

Nach Hubschrauberapplikation wurden an verschiedenen Stellen im Bestand Becher zum Auffangen von Regenwasser unter Schirm aufgestellt, das zum Tränken von Versuchsgefäßen inklusive Futter verwendet wurde. Die Versuchsgefäße wurden anschließend mit Collembolen als Testtiere besetzt und drei Wochen lang beobachtet. Der Collembole F. candida zeigte in keiner der fünf angesetzten Proben irgendwelche für Dimilin typischen Häutungsstörungen. Mit Hilfe von I. minor konnte dagegen in zwei von drei Proben Dimilin, wenn auch lediglich aufgrund von wenigen geschädigten Collembolen, nachgewiesen werden (Tab. 28).

Tab. 28: Biotest mit Collembolen zur Rückstandsermittlung von Dimilin im Regenwasser (erster Niederschlag nach Applikation)

Art	Folsomia candida 1)					Isotomiella minor 2)		
Probe	1	2	3	4	5	1	2	3
n	30	30	30	30	30	30	30	30
Dimilin-geschädigte Collembolen	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	13 %	3 %	0 %

1) 10 mm Niederschlag nach Applikation (Bayerischer Wald Juli 1982)

2) 16 mm Niederschlag nach Applikation (Ebersberger Forst April 1983)

Hier sei nochmals auf den ebenfalls mit I. minor durchgeführten Biotest zur Rückstandsermittlung in den obersten Streulagen verwiesen (4.4.3.2). Dort hatte sich nach ebendemselben Niederschlag von 16 mm eine deutlich höhere Mortalität ergeben (s. Tab. 27), die nunmehr auf zwei Quellen zurückgeführt werden kann, nämlich

1. auf den Dimilinniederschlag in Form von Makrotröpfchen, der bei der Hubschrauberapplikation überschirmten Boden in einer Größenordnung von z. B. 0,4 Tröpfchen pro cm^2 erreicht (s. Abb. 22 unten),
2. auf einen im Verlauf von Regenfällen sukzessive nachgewaschenen Dimilinniederschlag.

4.4.3.4 Rückstände im herbstlichen Abfall von Kronenmaterial

In der Dimilinfläche I wurden Ende Oktober 1981, etwa fünf Monate nach Hubschrauberapplikation, ca. 0,5 m^2 große Planen auf dem Boden ausgelegt, auf denen 10 Tage lang Bestandesabfälle gesammelt wurden. Diese wurden im Labor dem modifizierten Biotestverfahren mit M. domestica unterzogen. In zwei Proben, in denen lediglich Material von Fichten aufbereitet wurde, verlief der Nachweis negativ. Auf einer Plane befand sich etwas Laub von einer nahestehenden Birke. In dieser Probe waren 20 % der Tönnchenpuppen mißgebildet, was auf eine Konzentration im Medium deutet, die zwischen 0,05 und 0,5 ppm lag. Die Ergebnisse weisen darauf hin, daß in einem Fichtenbestand keine Gefahr einer weiteren Bodenbelastung durch Dimilin durch herbstlichen Abfall von Kronenmaterial gegeben ist. Dies dürfte vermutlich auch für andere immergrüne Nadelbäume gelten, die ja normalerweise lediglich die ältesten Nadeljahrgänge schütten. Dagegen scheint dieser Faktor in Laubbaumbeständen, die im Herbst ihre Assimilationsorgane vollständig abstoßen, eine größere Rolle zu spielen.

So konnte Dimilin nach aviotechnischer Behandlung eines Eichen-Mischbestandes im folgenden Frühjahr (ein Jahr nach Applikation) in einer Probe mit Eichenlaub (20 x 20 cm) mit dem modifizierten Biotest mit Musca domestica nachgewiesen werden.

4.5. Zum direkten Nachweis von Dimilinschädigungen bei Collembolen

4.5.1. Material und Methode

Mit den im folgenden geschilderten Untersuchungen soll dargestellt werden, inwieweit die im Labor gefundenen Empfindlichkeiten von Collembolen durch Freilandeinflüsse wie Überschirmungsgrad, Regen etc. überlagert werden.

Dazu wurden Versuche in zwei Richtungen durchgeführt:

Einmal wurden die untersuchten Arten nach der Applikation noch einige Zeit in ihrem ansonsten unveränderten Habitat belassen und erst dann zur Weiterbeobachtung ins Labor verbracht. Im einzelnen wurde dabei folgendermaßen vorgegangen: Die Streuproben wurden nach der Applikation zu festgelegten Probeterminen in 10 l fassende Plastikbeutel gesammelt und drucklos ins Labor eingetragen. Die größeren Arten Tomocerus flavescens, Tomocerus minor und Orchesella flavescens wurden von Hand mit Hilfe eines Exhaustors ausgelesen, die sehr kleine Art Isotomiella minor mit Hilfe der automatischen Berlese-Tullgren-Apparatur. Die so gewonnenen Versuchstiere wurden in den üblichen Gipsboden-Versuchsgefäßen unter Beigabe einiger Partikel Streu aufbewahrt und hinsichtlich Mortalität und auf Dimilin zurückzuführende Häutungsstörungen überwacht.

Der zweite Ansatz untersucht den Einfluß von Dimilin über eine Generation hinaus. Er dient damit bereits als Grundlage für die im letzten Kapitel beschriebenen Auswirkungen des Dimilineinsatzes auf die langfristige Populationsentwicklung.

Gewachsener, mit Polytrichum formosum locker bestockter Boden wurde nach Austreibung der Bodentiere in Versuchsgefäße eingepflanzt und der praxisüblichen Hubschrauberapplikation an unterschiedlich überschirmten Stellen unterzogen. Anschließend wurden in die so behandelten Gefäße definierte Anzahlen von Collembolen bekannten Alters aus Laborzuchten eingesetzt und bei konstanten Bedingungen gehalten. Nach 4 bis 8 Wochen wurde mit großen Berlese-Tullgren-Trichtern ausgelesen und die zahlenmäßige Entwicklung von adulten und juvenilen Tieren im Vergleich zur 0-Probe festgestellt.

Versuchsgefäße waren die für die Massenzuchten der Collembolen verwendeten Plastikbecher, die wie unter 3.1.2. beschrieben präpariert und feuchtgehalten wurden.

Bei beiden Versuchsansätzen waren neben den markierten Probestellen Glasplatten zur Bestimmung der Sprühtröpfchenanzahl pro cm² ausgelegt. Modifizierungen der Versuchsbedingungen sind bei der Ergebnisdarstellung beschrieben.

4.5.2. Ergebnisse zu Mortalität und Populationsentwicklung

4.5.2.1. Mortalität von wildgefangenen Collembolen aus behandelten Versuchsflächen

4.5.2.1.1. Applikation mit Handsprühgerät

Die zwei Tage nach Applikation von Dimilin ausgelesenen Collembolen der Arten T. flavescens, T. minor und O. flavescens wurden noch 12 Tage weiterbeobachtet, so daß sich die für T. flavescens regressionsanalytisch hergeleitete mittlere letale Aufwandmenge sowie die Absterberaten für die beiden anderen Arten auf einen 14tägigen Zeitraum beziehen.

Tab. 29 gibt die Mortalitätswerte der drei Entomobriidenarten aus den mit unterschiedlichen Aufwandmengen behandelten Parzellen wieder.

Tab. 29: Mortalität M in % bei drei Entomobriidenarten nach Dimilinapplikation mit Handsprühgerät im Freiland

Aufwandmenge pro ha		0-Probe	6 g	12 g	30 g	100 g	300 g[1)]	900 g
T. flavescens	n	37 2)	32	16	34 2)	47 2)	49 2)	40
	M	8	34	44	68	83	96	100
T. minor	n	14	-	30	32	20	14	30
	M	0		0	0	0	29	13
O. flavescens	n	15	-	14	15	15	8	15
	M	7		0	13	20	0	0

1) 300 g = praxisüblicher Aufwandmenge;
2) = Zusammenfassung von zwei Wiederholungen

Wie aus Tab. 29 zu entnehmen ist, trat bei O. flavescens keine und bei T. minor geringe Mortalität auf. Die mittlere letale Aufwandmenge von Dimilin im Freiland wurde somit nur für T. flavescens mit Hilfe der Probitregressionsanalyse errechnet (Tab. 30).

Tab. 30: Mit Hilfe der Probitregressionsanalyse errechnete mittlere letale Aufwandmenge im Freiland für T. flavescens (Applikation mit Handsprühgerät direkt auf den Waldboden)

Geradengleichung	Mittlere letale Aufwandmenge in g/ha (95prozentiger VB)	β (95 % VB)
Y = 3,401 + 1,294 x	17,2 (11,1 - 26,7)	1,800 (1,046 2,554)

Die obigen Mortalitätswerte beruhen auf Probematerial, das zwei Tage nach Applikation gewonnen wurde. Um den Einfluß der unmittelbaren Einwirkungszeit von Dimilin auf T. flavescens zu untersuchen, wurden die Tiere nach unterschiedlich langer Verweildauer in ihrer natürlichen Umgebung ausgelesen. Die 14 Tage nach Behandlung ermittelten Sterberaten sind getrennt für drei verschiedene Konzentrationen (300 g, 100 g und 30 g/ha) in Tab. 31 angegeben und in Abb. 23 veranschaulicht.

Tab. 31: Einfluß der unmittelbaren Einwirkungsdauer von Dimilin auf die Mortalität in % von T. flavescens (n = Anzahl beobachteter Collembolen)

Aufwandmenge pro ha	Mortalität M									
	Probenahme in Tagen nach Applikation									
	1		2		4		6		8	
	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M
300 g	18	72	10	100	12	83	7	100	8	88
100 g	23	74	23	83	17	71	18	67	14	93
30 g	28	32	20	55	23	39	23	74	20	90
0-Probe	-		18	0	-		-		-	

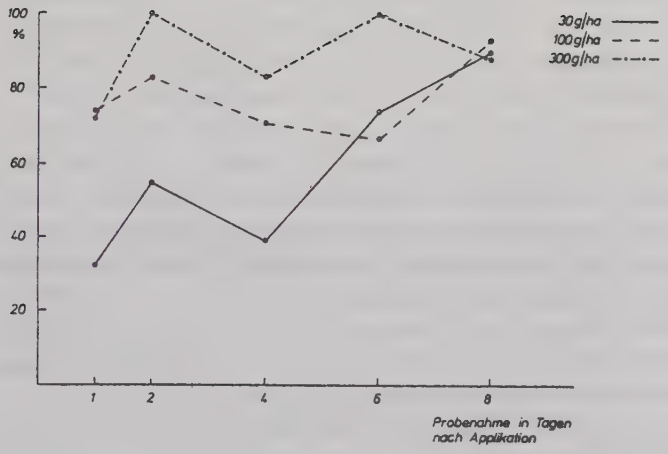


Abb. 23: Einfluß der unmittelbaren Einwirkungsdauer von Dimilin auf die Mortalität in % von T. flavescens

In den beiden höheren Konzentrationen waren bereits nach 1 - 2 Tagen Verweildauer in den zugehörigen Flächen sehr hohe Mortalitätsraten erreicht, die sich bei späterer Probenahme kaum noch veränderten; dabei liegt die 100-g-Kurve i. a. etwas unter der 300-g-Linie. Bei der geringer dosierten Fläche (30 g/ha) ist dagegen ein deutlicher Anstieg der Mortalität bei den erst nach 6 und 8 Tagen ausgelesenen Collembolen zu verzeichnen, wobei beim letzten Termin keinerlei Unterschied mehr zwischen den verschiedenen Konzentrationen erkennbar ist.

Bei geringerer Flächendosis scheint eine längere Kontaminierung von T. flavescens - wie sie ja normalerweise gegeben ist, da die Tiere in den Bekämpfungsflächen verbleiben - infolge der ausgeprägten Persistenz von Dimilin die Sterblichkeit zu erhöhen. Dies bedeutet, daß auch die errechnete mittlere letale Aufwandmenge für T. flavescens von 17 g vermutlich etwas zu hoch liegt, da ihr nur 2 Tage in der Behandlungsfläche verbliebenes Tiermaterial zugrunde liegt. Die Schwankungen in den Kurven der Abb. 23 können zum einen mit dem altersmäßig nicht ganz homogenen Versuchskollektiv erklärt werden; zum anderen könnten die Ergebnisse - trotz einer Probenahme aus der Mitte der Parzellen - durch einzelne eingewanderte Collembolen überlagert werden.

Die Ermittlung der Sterberaten des über Berlese-Tullgren-Trichtern ausgelesenen kleineren Isotomiden I. minor aus mit umgerechnet 300 g, 30 g und 3 g/ha behandelten Flächen gestaltete sich schwieriger. Wie sich auch bei den später beschriebenen Untersuchungen herausstellte, spielt gerade das in Regenwasser gelöste Dimilin für die hochempfindliche Art im Freiland eine wichtige Rolle.

Die erste Probenahme mit anschließender 2tägiger Auslese erfolgte 7 Tage nach Applikation, noch bevor Regen auf die behandelten Parzellen gefallen war. Der zweite Durchgang wurde nach starken Regenfällen weitere 8 Tage (+ 2 Tage für die Auslese) später vorgenommen. Die bis zum 16. Tag nach Behandlung ermittelten Prozentsätze an durch Dimilin gestorbenen Collembolen des ersten Probedurchgangs und die des sich anschließenden zweiten Durchgangs ab dem 17. Tag mit einer Beobachtungsdauer bis 4 Wochen nach Applikation sind in Tab. 32 verzeichnet. Die als „errechnete Gesamtmortalität" bezeichneten Werte wurden aus dem Mortalitätsprozent des ersten Probedurchganges und dem um die Mortalität des ersten Durchgangs

korrigierten Mortalitätswert des zweiten Durchgangs nach folgender Formel, modifiziert nach SOUTHWOOD (1966) errechnet:

$$\text{Gesamtmortalität} = m_1 + \frac{\ddot{u}_1 \times m_2}{100}$$

(ü = Überlebensrate, m = Mortalitätsprozent, 1 = 1. Probenahme, 2 = 2. Probenahme)

Auf diese Weise wurde in Rechnung gestellt, daß bis zu Beginn des zweiten Durchgangs bereits ein Teil der Collembolen an Dimilin gestorben war, so daß sich die aus der zweiten Probeserie ermittelte Mortalität nicht mehr auf die Ausgangsdichte (= 100 %), sondern auf die Rate der überlebenden Versuchstiere beziehen muß.

Tab. 32: Mortalität in % von I. minor nach Ausbringung von Dimilin in drei Aufwandmengen mit einem Handsprühgerät

Aufwandmenge pro ha	Mortalität M (%)				Errechnete Gesamtmortalität (%)
	n	M	n	M	
	9. - 16. Tag nach Applikation		17. - 28. Tag nach Applikation		
300 g	48	10	65	77	79,3
30 g	21	5	27	15	19,3
3 g	40	0	70	9	9
0-Probe	35	0	35	0	0

Für die Durchführung einer Probitregressionsanalyse eigneten sich die Daten nicht, da sich ihre Anpassung an die errechnete Gerade, wie der χ^2-Test zeigte, als ungenügend

erwies. Dies war vermutlich bedingt durch die relativ niedrige Mortalität in der 30-g-Fläche, die durch den speziell in dieser Parzelle sehr dichten Polytrichum-formosum-Bewuchs erklärt werden kann.

Während im ersten Probedurchgang bis zwei Wochen nach der Behandlung nur sehr wenige Collembolen abgestorben waren, lagen in der zweiten Serie die Sterberaten sehr viel höher. Dies hängt vermutlich nicht allein mit der längeren Einwirkungsdauer auf die erst nach gut zwei Wochen entnommenen Tiere zusammen, sondern auch mit dem inzwischen gefallenen Regen, durch den der Sprühbelag - in geringen Mengen aus dem beschirmten Moos gelöst - gleichmäßiger in der obersten Streulage verteilt worden sein dürfte. Sogar in der mit nur 1 % (3 g/ha) der praxisüblichen Konzentration besprühten Fläche konnten nach den Regenfällen noch einige eindeutig an Dimilin gestorbene Exemplare ausgesondert werden.

4.5.2.1.2. Applikation mit Hubschrauber

Das Material zu diesem Versuch stammt aus der Bekämpfungsfläche Rothenbuch/Ufr., hier wiederum aus nur halb überschirmten Teilen eines ca. 80jährigen Fichtenbestandes, die mit gutem Sprühbelag versehen waren. Der Vergleichbarkeit mit den Ebersberger Versuchsflächen wegen wurden Partien mit etwas Polytrichum formosum gewählt. Von zwei Probestellen wurden 8 Tage nach Behandlung mit 300 g Dimilin pro ha Streuproben eingeholt, aus denen T. flavescens ausgelesen wurde. Da eine genaue Altersbestimmung bei Wildfängen nicht möglich ist, wurde nur eine Sortierung in größere und kleinere Exemplare vorgenommen. Entsprechend dem kräftigen Sprühniederschlag konnte eine erhebliche Schädigung der Tiere festgestellt werden. Wie aus Tab. 33 hervorgeht, war dabei die durchschnittliche Mor-

talität der als jünger eingestuften Tiere 14 Tage nach der Applikation mit 59 % fast doppelt so hoch wie die der älteren Collembolen mit 32 %. Dies bedeutet, daß ebenso wie bei den Laborergebnissen - wenn auch weniger deutlich ausgeprägt - auch im Freiland eine altersspezifische Empfindlichkeit nachgewiesen werden kann.

Tab. 33: Mortalität in % bei T. flavescens nach Hubschrauberapplikation von Dimilin: Versuchsfläche Rothenbuch (n = Anzahl beobachteter Collembolen)

Probestelle Tröpfchen/cm²		Dimilin 1 3,8	2 2,5	ø	0-Probe
große Ex.	n	20	7		12
	%	35 %	29 %	32 %	0 %
kleine Ex.	n	19	15		16
	%	58 %	60 %	59 %	0 %

Da sich in der Versuchsfläche Rothenbuch bei dem Entomobriiden T. flavescens durch Dimilin eine deutliche Beeinträchtigung bemerkbar machte, sollte in einem Versuch, bei dem 300 g, 100 g und 30 g des Insektizides pro Hektar ausgebracht wurden, genauere Kenntnisse hinsichtlich des Einflusses von Überschirmung und Mittelkonzentration bei Hubschraubereinsatz gewonnen werden. Die Versuche wurden im Ebersberger Forst angelegt, nahe den Flächen, in welchen die später beschriebenen längerfristigen Untersuchungen zur Populationsentwicklung von Bodentieren nach aviochemischer Einwirkung von Dimilin und Ambush durchgeführt wurden. Vor der Applikation wurden sowohl überschirmte als auch nicht überschirmte Stellen zur Probenahme in jeder Fläche markiert. Nach der Auszählung der Sprüh-

tröpfchen/cm², die als relatives Maß für die Benetzung des Waldbodens mit Dimilin dienten, wurden je Fläche zwei Probestellen unter Lücken im Kronendach und zwei Stellen aus überschirmten Bereichen mit durchschnittlichem Tröpfchenbelag gewählt, aus denen nach 4 Tagen und 12 Tagen Streu zur Auslese von T. flavescens und anderen Entomobriiden entnommen wurde. Tab. 34 gibt die Mortalitätsraten von T. flavescens an den verschiedenen Probestellen an, getrennt für die erste und die zeitlich anschließende zweite Probeserie. Die Gesamtmortalität wurde wie in 4.5.2.1.1. errechnet. Sie ist in Abb. 24 dargestellt.

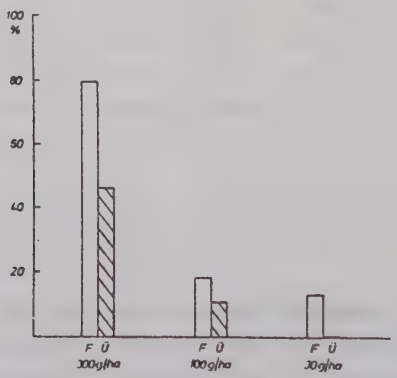


Abb. 24: Mortalität von T. flavescens nach Hubschrauberapplikation von Dimilin unter nicht beschirmten (F) und überschirmten (Ü) Bestandesteilen

In der mit praxisüblicher Aufwandmenge von 300 g/ha beflogenen Fläche war nicht nur in den nicht überschirmten Bereichen, sondern auch unter Schirm eine beträchtliche Mortalität zu verzeichnen. Wenn die Einzelwerte auch stark schwanken und die ermittelten Sterberaten somit auch nicht repräsentativ für den gesamten Bestand sind und schon gar nicht verallgemeinert werden können, zeigt sich doch, daß je nach Überschirmung mit

Tab. 34: Mortalität in % von T. flavescens nach Hubschrauberapplikation von Dimilin. (F = freie, nicht überschirmte Probestelle, Ü = überschirmte Probestelle, Tr. = Sprühtröpfchen, n = Anzahl beobachteter Collembolen)

Aufwandmenge pro ha	Probestelle	Tr/cm²	Mortalität M (%) 5. - 12. Tag nach Applikation n	M (%)	13. - 21. Tag nach Applikation n	M (%)	Gesamtmortalität (%), errechnet aus den Ø Werten
300 g	F_1	3,0	32	82	14	79	
	F_2	2,7	28	29	14	29	
	$Ü_1$	0,7	30	0	19	26	
	$Ü_2$	1,3	32	22	20	50	
	$F_Ø$			55,5		54	79,5
	$Ü_Ø$			11		39,5	46,1
100 g	F_1	3,1	26	8	24	8	
	F_2	3,1	28	4	28	18	
	$Ü_1$	0,4	28	7	13	15	
	$Ü_2$	0,3	32	0	14	0	
	$F_Ø$			6		13	18,2
	$Ü_Ø$			3,5		7,5	10,7
30 g	F_1	1,8	20	5	12	8	
	F_2	2,2	28	14	13	0	
	$Ü_1$	0,6	32	0	15	0	
	$Ü_2$	0,4	32	0	20	0	
	$F_Ø$			9,5		4	13,1
	$Ü_Ø$			0		0	0
0-Probe			22	0	22	0	0

einer mehr oder weniger starken Dezimierung dieser Art zu rechnen ist.

Würde man pro Hektar nur ein Drittel der bisher üblichen Aufwandmenge ausbringen, so würde nach den Ergebnissen dieses Versuches die Sterblichkeit von T. flavescens, sowohl ohne als auch mit Überschirmung nur noch 25 % im Vergleich zur normalen Aufwandmenge betragen. Bei einer weiteren Reduzierung auf 30 g/ha würde unter Schirm keine Mortalität bei T. flavescens mehr auftreten.

Was die beiden anderen Entomobriidenarten T. minor und O. flavescens anbetrifft, konnte in keiner der Proben, die bei T. minor mit einer Anzahl von etwa 15 Tieren pro Probe, bei O. flavescens von 8 - 10 Tieren pro Probe besetzt waren, irgendwelche durch Dimilin beeinträchtigte Collembolen bemerkt werden.

Für den Isotomiden I. minor wurden 5 Tage nach Applikation (+ 2 Tage Auslese) aus jeder Fläche an einer überschirmten und an einer nicht überschirmten Stelle Proben genommen. 13 Tage nach Applikation (+ 2 Tage Auslese) wurde jeweils von drei überschirmten und zwei nicht überschirmten Stellen Probematerial eingeholt; zwei zusätzliche Proben wurden aus einer in der 300-g-Fläche gelegenen Parzelle von etwa 5 m² Größe gezogen, die während der Befliegung mit einer Plane abgedeckt war.

Die erste Probenahme erfolgte noch vor dem 5 Tage nach Applikation einsetzenden heftigen Gewitterregen mit 16 mm Niederschlägen im Bestand. Dementsprechend ließ sich lediglich bei den Versuchstieren, die aus der nicht überschirmten Stelle der 300-g-Fläche stammten, eine gewisse Mortalität (20 %) beobachten. In sämtlichen anderen Proben konnten keine Dimilin-Schädigungen festgestellt werden (Tab. 35). Die Versuchstiere

waren über den in der Tabelle angegebenen Zeitraum (5. bis 12. Tag nach Behandlung) noch bis zum 28. Tag weiterbeobachtet worden, ohne daß sich das Resultat verändert hätte. Nach dem Regen machte sich dagegen der Einfluß von Dimilin gerade in den überschirmten Proben mit einem maximalen Wert in Probe 3 von 37 % an Dimilin gestorbenen Tieren bemerkbar. Auch in den beiden Zusatzproben, die aus der abgedeckten Parzelle stammten und daher nur über den Regen mit Dimilin in Berührung gekommen sein konnten, waren einige Versuchstiere mit eindeutigen Dimilin-Defekten zu registrieren.

Während in der 300-g-Fläche in jeder Probe Dimilin-geschädigte Collembolen zu finden waren, sank in den mit geringerer Aufwandmenge besprühten Flächen die Zahl der Proben, bei denen ein Einfluß des Insektizids sichtbar wurde. In der 100-g-Fläche war in einer der beiden nicht überschirmten Proben keine Mortalität zu erkennen; in der 30-g-Fläche trat lediglich in einer überschirmten und einer nicht überschirmten Probe geringe Mortalität auf.

Tab. 35: Mortalität in % von I. minor nach Hubschrauberapplikation von Dimilin. F = freie, nicht überschirmte Probestelle, Ü = überschirmte Probestelle, R = Boden war während der Applikation abgedeckt; Kontamination erfolgte nur über Abwaschung von Dimilin durch Regen, Tr = Sprühtröpfchen

Aufwandmenge pro ha	Probestelle	Mortalität M (%)					Gesamtmortalität (%), errechnet aus den Ø Werten
		Tr/cm²	5. - 12. Tag nach Applikation		13. - 21. Tag nach Applikation		
			n	M (%)	n	M (%)	
300 g	F_1	3,0	15	20	47	9	
	F_2	2,7	-	-	39	10	
	$Ü_1$	0,7	53	0	44	20	
	$Ü_2$	1,3	-	-	56	9	
	$Ü_3$	0,6	-	-	27	37	
	R_1	2,0	-	-	14	14	
	R_2	3,0	-	-	15	7	
	$F_Ø$			20		9,5	27,6
	$Ü_Ø$			0		22	22
	$R_Ø$			-		10,5	10,5
100 g	F_1	3,1	57	0	46	9	
	F_2	3,1	-	-	30	0	
	$Ü_1$	0,4	55	0	80	14	
	$Ü_2$	0,3	-	-	52	4	
	$Ü_3$	0,5	-	-	80	9	
	$F_Ø$			0		4,5	4,5
	$Ü_Ø$			0		9	9
30 g	F_1	1,8	130	0	71	0	
	F_2	2,2	-	-	43	5	
	$Ü_1$	0,6	50	0	80	0	
	$Ü_2$	0,4	-	-	67	0	
	$Ü_3$	0,2	-	-	11	9	
	$F_Ø$			0		2,5	2,5
	$Ü_Ø$			0		3	3
0-Probe			30	0	30	0	0

So läßt sich auch - ähnlich wie für T. flavescens - die mit fallender Dimilin-Konzentration geringer werdende Gefährdung durch graphische Darstellung der errechneten durchschnittlichen Gesamtmortalität sichtbar machen (Abb. 25). Anders als bei T. flavescens zeigt sich jedoch, daß die Überschirmung und die damit verbundene Ausfilterung der Sprühtröpfchen die schädigende Auswirkung von Dimilin nicht nachhaltig vermindern kann.

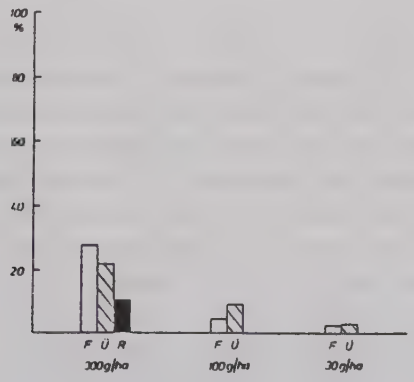


Abb. 25: Mortalität von I. minor nach Hubschrauberapplikation von Dimilin unter nicht beschirmten (F) und überschirmten (Ü) Bestandesteilen (R: Behandlung erfolgt nur über Abwaschung von Dimilin durch Regen)

4.5.2.2. Populationsentwicklung gezüchteter Collembolen in behandelten Versuchsgefäßen

Die folgenden Versuche sind zwar besser auf den robusten Entomobriiden Tomocerus flavescens zugeschnitten als auf den äußerst schwierig zu handhabenden Isotomiden Isotomiella minor. Trotzdem sollen auch die mit I. minor durchgeführten

Versuche zur Populationsentwicklung angeführt werden, da sich mit ihnen zumindest Tendenzen aufzeigen lassen.

Versuche mit T. flavescens

Einen Tag nach Applikation wurden die Töpfe mit jeweils 20 eben adulten Collembolen besetzt. Um ihre Vermehrung festzustellen, wurden die Proben nach einigen Wochen über große Berlese-Tullgren-Trichter ausgelesen (Auslesedauer 6 Tage).

Wie die Tab. 36 und 37 zeigen, fielen die Ergebnisse in den Versuchswiederholungen Rothenbuch und Ebersberg gleichgerichtet aus. Unter Einwirkung des Dimilin-Sprühbelags wurde bei T. flavescens die Populationsentwicklung deutlich gehemmt. In den Töpfen, die während der Befliegung unter dem Schutz der Baumkronen standen, betrug die durchschnittliche Nachkommenschaft nur noch 21 - 30 % von der der 0-Probe. Bei nicht überschirmten Proben sank die Produktion noch stärker ab, wobei im Schnitt nur noch 11 - 18 % der in unbehandelten Proben vorgefundenen Jungtiere zu zählen waren.

Drei Ursachen dürften der verringerten Produktion an Jungtieren zugrunde liegen:

1. eine sehr hohe Mortalität der geschlechtsreifen Collembolen,

2. der durch die lange Persistenz von Dimilin zu erwartende letale Einfluß auf die geschlüpften Jungtiere,

3. eine verringerte Schlupfrate von Eiern, die von kontaminierten Alttieren stammten.

Tab. 36: Populationsentwicklung von T. flavescens nach Hubschrauberapplikation von 300 g Dimilin/ha in der Versuchsfläche Rothenbuch (Auslese 6. - 7. Woche nach Versuchsansatz)

Probestelle	frei	überschirmt 1	2	ø	0-Probe 1	2	ø
Tr./cm²	4,4	1,6	2,2		-	-	
Mortalität (%) adulter Tiere	95	40	80	60	20	10	15
Anzahl juveniler Tiere	22	25	26	26	137	107	122
% zu 0-Probe (ø)	18	20	21	21	112	88	100

Tab. 37: Populationsentwicklung von T. flavescens nach Hubschrauberapplikation von 300 g Dimilin/ha in der Versuchsfläche Ebersberg (Auslese 4. - 5. Woche nach Versuchsansatz)

Probestelle	frei 1	2	ø	überschirmt 1	2	ø	0-Probe
Tr./cm²	3,0	3,0		1,3	1,3		
Mortalität (%) adulter Tiere	90	100	95	100	95	98	20
Anzahl juveniler Tiere	6	35	21	60	56	58	195
% zu 0-Probe (ø)	3	18	11	31	29	30	100

Versuche mit I. minor

In der Versuchsfläche Rothenbuch wurden die Versuchsgefäße unmittelbar nach der Applikation eingesammelt und am darauffolgenden Tag mit jeweils 50 adulten Collembolen beschickt. In der Versuchsfläche Ebersberg wurden die Töpfe aus nicht überschirmten und ein Teil der Gefäße aus überschirmten Stellen nach der Applikation eingeholt; die restlichen Töpfe sowie zwei unbehandelte Töpfe wurden bis zum nächsten Starkregen (16 mm im Bestand, 5 Tage nach der Befliegung) in der Versuchsfläche unter Schirm belassen. In den Böden der im Wald verbliebenen Gefäße waren Löcher für den Wasserabfluß angebracht worden. Dennoch vernäßten die Proben durch den Regenguß so sehr, daß die Versuchsansätze erst drei Tage später, nachdem sich ihr Wassergehalt den übrigen Proben angeglichen hatte, einheitlich für sämtliche Versuchsvarianten vorgenommen werden konnte. Die Ausbeute an jungen Collembolen bei der Auslese nach einigen Wochen ist in den Tab. 38 und 39 wiedergegeben. Für die unmittelbar nach der Applikation wieder eingesammelten Töpfe ergibt sich in den beiden Versuchsflächen ein ähnliches Bild. Bei den überschirmt aufgestellten Gefäßen läßt sich keine oder allenfalls eine sehr schwache ($Ü_2$ Rothenbuch) Einwirkung auf die Nachkommenschaft ablesen; auf die während der Befliegung unter freiem Himmel stehenden Töpfe machte sich dagegen mit der Produktion an Nachkommenschaft, die bei durchschnittlich 44 - 59 % im Vergleich zur 0-Probe lag, der Einfluß von Dimilin bemerkbar.

Sehr viel gravierender als die unmittelbar bei der Ausbringung auf den Boden gelangenden Sprühtröpfchen wirkte sich allerdings die Abwaschung von Dimilin aus den Fichtenkronen durch Regen aus. In sämtlichen Töpfen, die während des Regens unter den behandelten Bäumen standen, entwickelte sich im Vergleich zur 0-Probe lediglich ein geringer Bruchteil an jungen Collembolen. Nur durchschnittlich 11 % (4 - 15 %) an

Tab. 38: Populationsentwicklung von I. minor nach Hubschrauberapplikation von 300 g Dimilin/ha in der Versuchsfläche Ebersberg (Auslese 5. - 6. Woche nach Versuchsansatz)

Probestelle	F			Ü				Ü + R				R			0-Probe				
	1	2	ø	1	2	3	ø	1	2	3	ø	1	2	ø	1	2	3	4	ø
Tr./cm²	2,8	3,0		2,3	2,3	0,8		2,3	2,3	0,8		2,3	0,6						
Anzahl Collembolen	107	122	115	250	167	215	211	7	28	30	22	56	4	30	216	173	171	220	195
% zu 0-Probe (ø)	55	62	59	128	86	110	108	4	14	15	11	29	2	15	111	89	88	113	100

F = freie, nicht überschirmte Probestelle; Ü = überschirmte Probestelle; Ü + R = Versuchsgefäße standen während Applikation unter Schirm und verblieben bis zum nächsten Starkregen an der Probestelle; R = nur Regen; Versuchsgefäße standen während der Applikation nicht in der Versuchsfläche, sondern wurden anschließend bis zum Starkregen an überschirmten Probestellen aufgestellt.

Jungtieren wurden aus den Gefäßen ausgelesen, die sowohl der Applikation direkt als auch den darauffolgenden Niederschlägen ausgesetzt waren. Ähnlich gering fiel die Nachkommenschaft mit 15 % (2 - 29 %) in den Töpfen aus, die allein durch den Regen mit Dimilin in Verbindung gekommen waren.

Tab. 39: Populationsentwicklung von I. minor nach Hubschrauberapplikation von 300 g Dimilin/ha in der Versuchsfläche Rothenbuch (Auslese 8. - 9. Woche nach Versuchsansatz)

Probestelle	F	Ü			0-Probe		
		1	2	ø	1	2	ø
Tr./cm²	3,8	2,5	3,7				
Anzahl Collembolen	66	162	102	132	163	134	149
% zu 0-Probe (ø)	44	109	68	89	110	90	100

4.6. Zur längerfristigen Populationsentwicklung von Bodentieren in mit Dimilin und Ambush behandelten Probeflächen

4.6.1. Allgemeines

Dimilin unterliegt im Boden keinem nachweisbaren Auswaschungsprozeß[1], sondern wird in der obersten Streulage adsorbiert bzw. bleibt an der Bodenvegetation haften (siehe 4.4.3.2.). Daher galt es in erster Linie, die Auswirkungen der Insektizide auf solche Bodentiere zu untersuchen, deren Lebensraum in diesem kontaminierten Bereich liegt. Gefährdet waren somit vor allem oberflächenbewohnende Collembolen der Familie Entomobriidae sowie in der Bodenstreu lebende Milben und Collembolen, unter letzteren vor allem die dominante Art Isotomiella minor, die sich nach den Untersuchungen im Labor als äußerst empfindlich gegenüber Dimilin erwiesen hatte.

4.6.2. Material und Methode

4.6.2.1. Gewinnung des Tiermaterials

Bodenproben

Innerhalb der Kernflächen der unter 4.1. beschriebenen sechs Versuchsflächen waren in Polstern von Polytrichum formosum einheitliche Probestellen markiert worden, an denen zu jedem Probetermin (Tab. 40) Bodenproben zur Ermittlung der Besiedelungsdichte streu- und oberbodenbewohnender Arten entnommen wurden. Die Entnahme erfolgte mit Hilfe eines stählernen Stechzylinders (Innendurchmesser 2,7 cm) mit Ausstoßkolben aus 0 bis 6 cm Tiefe. Eine Bodenprobe bestand aus zwei parallel geführten Einstichen und umfaßte ein Volumen von etwa 70 cm^3.

---

1) Auch bei Pyrethroiden findet nach ELLIOTT et al. (1978) keine Auswaschung statt.

Die Auslese der Bodentiere erfolgte nach dem modifizierten BERLESE-TULLGREN-Verfahren (siehe 3.1.1.) unter Verwendung von schwarz eloxierten Aluminiumtrichtern (Ø = 10 cm; h = 11 cm), die mit 3-Watt-Glühbirnen, umgeben von einem Schirm aus Alufolie, beleuchtet wurden. Der Abstand zwischen Lampe und Bodenprobe wurde so gewählt, daß während der viertägigen Auslese eine Temperatur von 28 °C bis 30 °C entstand. Aufgefangen und bis zur späteren Aufarbeitung aufbewahrt wurden die hier ausgetriebenen Tiere in 70prozentigem Alkohol. Da die Kapazität dieser Anlage begrenzt war, konnten nur jeweils aus drei Flächen gleichzeitig Proben gezogen und ausgelesen werden.

Tab. 40: Übersicht über die Termine zur Entnahme der Bodenproben aus den am 15. Mai 1981 behandelten Flächen I und Flächen II im Ebersberger Forst

Probetermin	O-Fläche I Dimilinfläche I Ambushfläche I		O-Fläche II Dimilinfläche II Ambushfläche II	
	Datum	Zeit nach Applikation	Datum	Zeit nach Applikation
0	11.05.81	vor Behandlung	15.05.81	vor Behandlung
1	10.06.81	ca. 1 Monat	15.06.81	1 Monat
2	20.08.81	ca. 3 Monate	24.08.81	ca. 3 Monate
3	09.12.81	ca. 7 Monate	04.01.82	ca. 7,5 Monate
4	23.07.82	ca. 14 Monate	03.08.82	ca. 14,5 Monate
5	09.03.83	ca. 22 Monate	16.03.83	ca. 22 Monate

Bodenfallen

Die Erfassung der oberflächenbewohnenden Collembolen erfolgte mit Bodenfallen nach BARBER (1931). Hierfür wurden in den Versuchsflächen zu jedem Probetermin (Tab. 41) an den markierten Stellen für 9 - 14 Tage durchsichtige Hartplastikbecher ($Ø_{oben}$ = 7 cm, h = 9,5 cm) ebenerdig im Boden versenkt. Diese waren zu etwa einem Drittel mit 0,4prozentigem Formalin

gefüllt und wurden durch Plexiglasdächer von 17 x 17 cm gegen Verunreinigungen und Regen geschützt. Nach dem Einsammeln der Fallen wurde das Tiermaterial zur Aufbewahrung in 70prozentigen Alkohol überführt.

Mit dieser Methode wird nicht die Besiedelungsdichte von Arthropoden wie bei den Bodenproben festgestellt, sondern die Aktivitätsabundanz (TREZZEL, 1955) oder Aktivitätsdichte (HEYDEMANN, 1958) gemessen. Dies ist eine dynamische Größe, in der die Anzahl der beweglichen, zufällig in den Bereich der Falle gelangenden Tiere registriert wird.

Tab. 41 : Übersicht über die Aufstellungstermine der Bodenfallen im Ebersberger Forst

Probe-termin	Fallenaufstellung von ... bis ...	Zeit nach Applikation
0	05.05.81 - 15.05.81	vor Behandlung
1	22.05.81 - 05.06.81	1 - 3 Wochen
2	05.06.81 - 16.06.81	ca. 3 - 4,5 Wochen
3	19.08.81 - 28.08.81	ca. 3 - 3,5 Monate
4	23.10.81 - 02.11.81	ca. 5 - 5,5 Monate
5	11.05.82 - 21.05.82	ca. 12 - 12,5 Monate

4.6.2.2. Aufarbeitung des Tiermaterials

Bodenproben

Pro Fläche und Termin wurden 20 Bodenproben, insgesamt also 720 Proben, bearbeitet. Die Auswertung des Materials beschränkte sich auf den dominanten Collembolen Isotomiella minor

und die dominante Hornmilbe Hermannia gibba. Die Auszählung von H. gibba erfolgte unter der Stereolupe bei 25facher Vergrößerung, die Sichtung der Collembolen wurde unter dem Mikroskop bei 100facher Vergrößerung vorgenommen.

Bodenfallen

Pro Fläche und Termin wurden 15 Bodenfallen, insgesamt also Material aus 540 Fallen, in die Auswertung einbezogen. Nach dem Bestimmungsschlüssel von GISIN (1960) konnten aus der Familie der Entomobriidae acht Arten ausgeschieden werden:

Tomocerus flavescens (TULLBERG)
Tomocerus minor (LUBBOCK)
Orchesella flavescens (BOURLET)
Orchesella villosa (GEOFFROY)
Lepidocyrtus lanuginosus (GMELIN)
Lepidocyrtus cyaneus Var. violacea (TULLBERG)
Entomobrya nivalis (LINNÉ)
Entomobrya corticalis (NICOLET)

4.6.2.3. Statistische Auswertung

Bodenproben

Da die Bodenproben aus Kapazitätsgründen nicht auf allen sechs Flächen gleichzeitig gezogen werden konnten, erfolgte die statistische Auswertung getrennt für die Flächen I und II.

Die meisten Bodentiere, darunter auch die untersuchten Arten, sind im Waldboden nicht zufällig, sondern in Aggregationen verteilt. DOPPELREITER (1978) errechnete beispielsweise

für I. minor einen Aggregationsindex nach TAYLOR (1961) von 1,64, d. h. einen Wert, der zwischen 1 - entsprechend einer annähernd randomisierten Verteilungsform - und 2 - stark gehäufte Verteilung - liegt. Aus diesem Grund wurden zur statistischen Absicherung der Ergebnisse zwei parameterfreie Testverfahren gewählt:

a) simultane Stichprobenvergleiche in Kontingenztafeln (MILLER, 1981)
b) doppelte Rangvarianzanalyse nach FRIEDMANN (SACHS, 1978).

Bei ersterem Verfahren wurde für I. minor bzw. H. gibba eine Werteskala aus jeweils 360 Bodenproben je Versuchswiederholung gebildet. Diese Skala wurde in sechs Klassen von gleicher Häufigkeit eingeteilt. Bei jedem Einzelwert wurde die zugehörige Klasse festgestellt, woraus sich die Häufigkeitsverteilung ergab. Während bei parametrischen Testverfahren, wie der Varianzanalyse, Mittelwerte verglichen werden, werden hier Unterschiede in den Häufigkeitsverteilungen geprüft. Für die jeweiligen Probetermine wurden Kontingenztafeln aufgestellt, innerhalb derer ein simultaner Stichprobenvergleich der relativen Häufigkeiten der einzelnen Klassen* bezüglich der Behandlung durchgeführt wurde. Nach MILLER (1981) liegt ein signifikanter Unterschied vor, wenn $|\hat{l}| > as\,(\hat{l})$. Dabei ist

$$\hat{l} = \hat{p}_{1j} - \hat{p}_{2j}$$

p_{1j}; p_{2j} = rel. Häufigkeit der Behandlung 1 bzw. 2 in der j-ten Klasse

$$a = \sqrt{\chi^2\,(k-1)(m-1),\,(\alpha)}$$

k = Anzahl Behandlungen = 3
m = Anzahl Klassen = 6
α = 0,05

$$s\,(\hat{l}) = \sqrt{\frac{1}{n_1}\left(\hat{p}_{1j} - \hat{p}_{1j^2}\right) + \frac{1}{n_2}\left(\hat{p}_{2j} - \hat{p}_{2j^2}\right)}$$

n_1 = Anzahl Proben bei Behandlung 1 = 20

n_2 = Anzahl Proben bei Behandlung 2 = 20

* rel. Häufigkeit einer Klasse = Klassenhäufigkeit dividiert durch Gesamthäufigkeit (= 20)

Da bei diesem Verfahren eine unterschiedliche Besiedelungsdichte von I. minor und H. gibba in den verschiedenen Probeflächen vor der Behandlung nicht berücksichtigt werden konnte, wurde zum zweiten eine doppelte Rangvarianzanalyse nach FRIEDMANN durchgeführt. Hierbei wurden die Einzelwerte der 20 Bodenproben je Fläche und Termin aufsummiert und durch den Summenwert vor der Behandlung dividiert. Diese Quotienten wurden je Termin mit Rangzahlen versehen und bildeten somit die Grundlage für die doppelte Rangvarianzalanyse. Dieser Test ist ein Homogenitätstest, mit dem lediglich geprüft werden kann, ob die Behandlungsstichproben aus derselben Grundgesamtheit stammen. Zur Feststellung, welche Behandlungen sich signifikant unterscheiden, wurde folgende Formel (MILLER, 1981) herangezogen:

$$D = p \cdot q_{m,\infty,(\alpha)} \sqrt{\frac{m\ (m+1)}{6p}}$$

p = Anzahl Termine nach Behandlung = 5

$q_{m,\infty,(\alpha)}$ = Quantil der studentisierten Variationsbreite

m = Anzahl Behandlungen

Zwei Behandlungen unterscheiden sich signifikant, wenn die Differenz ihrer Rangsummen (absoluter Wert) größer ist als D.

Bodenfallen

Statistische Berechnungen wurden für die beiden dominanten Arten T. flavescens und O. flavescens sowie summarisch für sämtliche Vertreter der mit den Fallen erfaßten Entomobriiden angestellt. Die übrigen sechs Arten wurden wegen ihres unregelmäßigen bzw. jahreszeitlich späteren Auftretens (somit fehlte eine

Bezugsbasis für den Flächenvergleich vor der Behandlung) von der Berechnung ausgenommen.

Für die statistische Auswertung wurden die Dimilinflächen I und II, die Ambushflächen I und II und die O-Flächen I und II jeweils zusammengefaßt. Auf diese Weise gingen 30 Fallen pro Behandlung in die Auswertung ein.

Zur Entscheidung, ob ein parametrisches oder ein parameterfreies Testverfahren zur Absicherung der Ergebnisse anzuwenden sei, müßte eigentlich für jede Behandlungsvariante zu jedem Probetermin die Verteilungsform der Bodentiere einzeln überprüft werden. Da dies praktisch jedoch nicht möglich ist - hierfür wäre jeweils eine sehr große Anzahl Proben nötig -, wurde die Verteilung der Fangzahlen (x) für sämtliche Behandlungen über alle Termine gemeinsam untersucht (n = 540). Dabei stellte sich heraus, daß die Daten nach einer ln-Transformation bis auf eine leichte Schiefe eine angenäherte Normalverteilung ergeben (Anhang 9), so daß schließlich eine zweifache Varianzanalyse mit der Variablen LX ≡ lnx, klassifiziert nach Behandlung und Probetermin, durchgeführt wurde. Die Zellenvergleiche in der Anova (Tukey-Methode) erfolgten nach folgender Formel (aus MILLER, 1981):

$$D = \frac{1}{\sqrt{k}} \cdot q_{mp,n-mp,\alpha=0,05} \cdot MQI$$

wobei
- k = Zellenhäufigkeit = 30
- m = Zeilenanzahl = 3 (O-Probe, Dimilin, Ambush)
- p = Spaltenanzahl = 6 (6 Termine)
- n = mpk = Gesamthäufigkeit (= 540)
- q = Quantil der studentisierten Variationsbreite
- MQI = Mittleres Abweichungsquadrat innerhalb der Beobachtungswerte

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Zellen ist gegeben, falls $|\bar{x} - \bar{x}'| > D$.

Die unter Anwendung der Anova ermittelten Befunde waren mit Hilfe der parameterfreien Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse überprüft. Für die simultanen Stichprobenvergleiche fand die Formel

$$D_T = q_{k,\infty,\alpha} \cdot \sqrt{\frac{k\,(kn_1 + 1)}{12}}$$

Verwendung (aus MILLER, 1981),

wobei k = Anzahl mittlerer Ränge (= 15)
n_1 = Anzahl in jeder Zelle (= 30)
q = Quantil der studentisierten Variationsbreite.

Da sich zeigte, daß die Aktivitätsdichten der untersuchten Arten in den verschiedenen Behandlungsvarianten vor Applikation teilweise unterschiedlich waren, wurde auch in Erwägung gezogen, die Berechnungen mit einer Variablen LRX durchzuführen, die mit den Ausgangsdaten in Beziehung gesetzt war. Eine Relativierung des Zahlenmaterials bot sich an, da die einzelnen Fallen zu jedem Probetermin in die ursprünglich ausgestochenen Löcher im Boden erneut eingesetzt worden waren und somit die Voraussetzung für die Zuordnung der Fangzahlen nach Behandlung (x) zu denen vor Behandlung (x_0) gegeben war. Zur Berechnung von LRX werden die ln-transformierten Werte vor der Behandlung von denen nach der Behandlung subtrahiert: $LRX \equiv \ln x - \ln x_0 = \ln \frac{x}{x_0}$. Die Verteilung dieser Werte entsprach ebenfalls näherungsweise einer Normalverteilung mit leichter Schiefe. Eine Variable LRX kann jedoch nur sinnvoll sein, wenn auch tatsächlich ein Zusammenhang zwischen den Fangergebnissen vor und zu den einzelnen Terminen nach Applikation gegeben ist. Die durchgeführte Korrelationsanalyse (Anhang 10) erbrachte einen statistischen Zusammenhang bei T. flavescens für die beiden ersten Termine nach Applikation, bei der Familie der Entomobriidae konnte nur zum ersten Termin nach Behandlung eine Korrelation gefunden werden, während bei O. flavescens überhaupt

keine signifikante Korrelation zu erkennen war. Aus diesem Grund beschränkt sich die Ergebnisdarstellung in erster Linie auf die mit der zunächst erläuterten Variablen LX ermittelten Befunde.

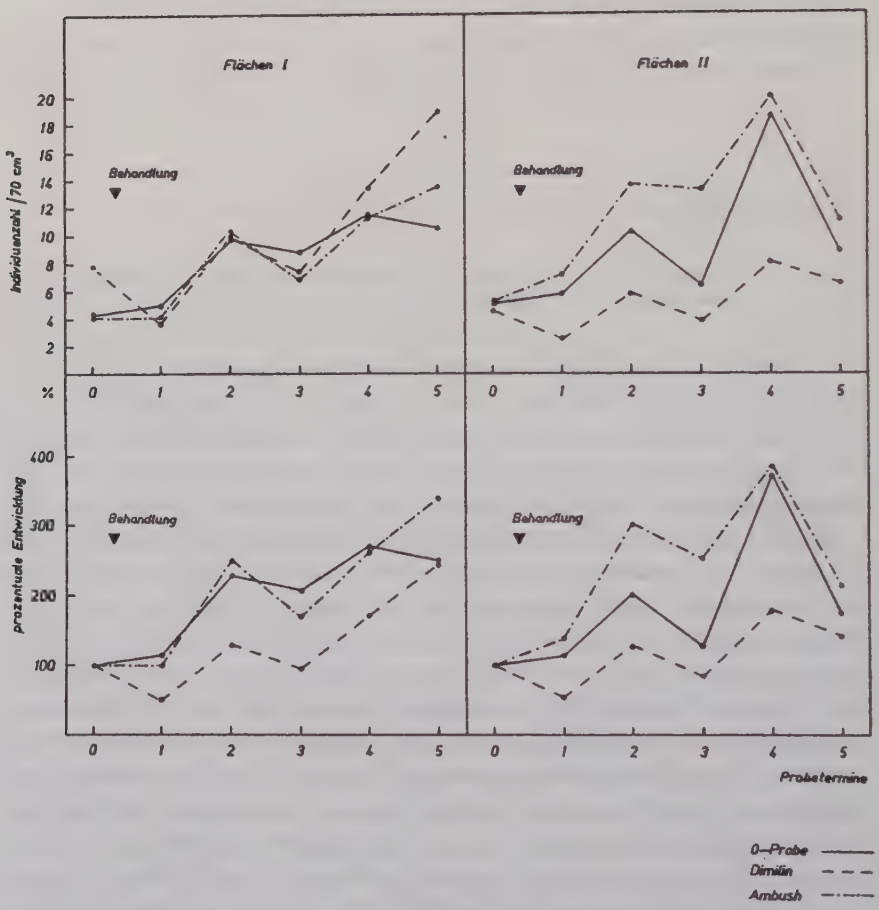
4.6.3. Ergebnisse der Bodenprobenauswertung

4.6.3.1. Entwicklung der Besiedelungsdichte des Collembolen Isotomiella minor

In Abb. 26 (oben) sind die Abundanzschwankungen von I. minor[1] getrennt für die Flächen I und II über die einzelnen Probetermine hinweg dargestellt, in Abb. 26 (unten) ist die prozentuale Entwicklung der Besiedelungsdichte unter Berücksichtigung der Ausgangssituation vor der Applikation aufgetragen. Betrachtet man zunächst die Entwicklung der Populationen aus den unbehandelten Flächen, so ist ein kontinuierlicher Anstieg der Abundanzen aus einem Minimum zu Versuchsbeginn Mitte Mai 1981, über den Probetermin Mitte Juni bis in die zweite Augusthälfte festzustellen, während im Winter (Dez./Jan.) die Dichte wieder rückläufig war. Der im Juli/August 1982 ermittelte Collembolenbesatz übertraf die Werte des Vorjahres, eventuell bedingt durch die überdurchschnittlich warme Sommerwitterung 1982, die möglicherweise zusammen mit dem folgenden milden Winter die im März 1983 recht hohe Populationsdichte erklären könnte. Die jahreszeitliche Zunahme der Population von I. minor, wie 1981 beobachtet, stimmt mit den Ergebnissen DOPPELREITERS (1978) überein, der ebenfalls im Ebersberger Forst im Jahr 1977 einen Dichteanstieg über die Vegetationsperiode hinweg registrieren konnte. Auch USHER (1970) berichtet von einem Dichtemaximum im August in einem schottischen Kiefernwald. Beim Vergleich der behandelten Flächen mit den O-Flächen fällt auf, daß in beiden Versuchswiederholungen die

---

1) Mittelwerte und Standardabweichungen sind im Anhang (1) wiedergegeben.



Tab. 26: Entwicklung der Besiedelungsdichte von I. minor in den Flächen I und II nach aviotechnischer Applikation von Dimilin und Ambush. Oben: Anzahl Collembolen pro Probe; unten: prozentuale Entwicklung unter Berücksichtigung der Besiedelungsdichte vor Behandlung.

Anzahl von I. minor in den aus den O-Flächen und Ambushflächen gezogenen Proben zum ersten Probetermin nach Behandlung leicht ansteigen bzw. auf dem gleichen Niveau bleiben, während sowohl in Dimilinfläche I als auch in Dimilinfläche II ein Absinken um etwa 50 % zur Ausgangszahl zu verzeichnen ist. Dimilinkurven und O-Flächen-Kurven laufen dann um diesen Unterschied versetzt annähernd parallel bis zum 4. Termin (14 Monate) nach Behandlung, während zum 5. Termin (fast 2 Jahre) nach Behandlung schließlich eine deutliche Annäherung zu verzeichnen ist. Die Besiedelungsdichte der Ambushfläche I entspricht weitgehend derjenigen der O-Fläche I, wohingegen die Abundanz der Ambushfläche II die der O-Fläche II zum 2. und vor allem zum 3. Termin nach Behandlung erheblich übersteigt.

Diese Ergebnisse sind allerdings vorsichtig zu interpretieren, da die statistische Auswertung mit Hilfe der Häufigkeitstafeln in Versuchswiederholung I keine signifikanten Unterschiede erbrachte (Anhang 2). In Wiederholung II war lediglich zum 3. Termin (7,5 Monate) nach Behandlung eine signifikant höhere Dichte in der Ambushfläche gegenüber der Dimilinfläche (Anhang 3) festzustellen.

Das zweite nichtparametrische Testverfahren, die doppelte Rangvarianzanalyse, zeigte jedoch unter Berücksichtigung der Ausgangsdichte signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen auf. Danach bewirkte die Behandlung mit Dimilin in Wiederholung I gegenüber der unbehandelten Fläche und der Ambushfläche eine signifikante Verringerung des Besatzes mit I. minor. In Wiederholung II liegt zwar ebenfalls, wie aus Abb. 26 (unten) ersichtlich, zu jedem Probetermin die relative Dichte der O-Fläche und der Ambushfläche über der der Dimilinfläche, signifikante Unterschiede ergeben sich jedoch nur zwischen der Ambush- und der Dimilinfläche (Anhang 4).

4.6.3.2. Entwicklung der Besiedelungsdichte der Hornmilbe Hermannia gibba

Analog der Darstellungsweise bei I. minor ist in Abb. 27 der Verlauf der Abundanzen von H. gibba (sämtliche Stadien)[1] in den Flächen I und II wiedergegeben.

In Versuchswiederholung I verlaufen die Kurven der O-Fläche und Ambushfläche weitgehend parallel, während die der Dimilinfläche über den gesamten Versuchszeitraum hinweg deutlich darunter liegt. Dementsprechend können zu den simultanen Stichprobenvergleichen in den Kontingenztafeln zum 1. Termin (1 Monat) und zum 5. Termin (14 Monate) nach Applikation signifikante Unterschiede in den Häufigkeitsverteilungen zwischen der O-Fläche und der Dimilinfläche aufgezeigt werden (Anhang 6). Wird jedoch der geringen Besiedelungsdichte der Dimilinfläche vor Behandlung Rechnung getragen, so ist dieser Unterschied zwar auch nach dem Friedmann-Test signifikant (Anhang 8), aber deutlich geringer ausgeprägt (Abb. 27 , unten).

In Versuchswiederholung II ist dagegen mit keinem der beiden Testverfahren eine Beeinflussung von H. gibba durch Dimilin feststellbar. Die Abundanzkurven von Dimilin- und O-Fläche liegen eng beieinander, während die der Ambushfläche augenscheinlich höher verläuft (Abb. 27 , oben). Ein simultaner Stichprobenvergleich in den Kontingenztafeln erbringt jedoch keine Unterschiede in den Häufigkeitsverteilungen (Anhang 7). Die prozentuale Entwicklung der Population, die der höheren Ausgangsdichte dieser Fläche Rechnung trägt, entspricht der der beiden anderen Flächen. Somit sind auch nach dem Friedmanntest keine statistisch gesicherten Unterschiede gegeben (Anhang 8).

---

1) Mittelwerte, Standardabweichungen und Extremwerte sind in Anhang 5 wiedergegeben.

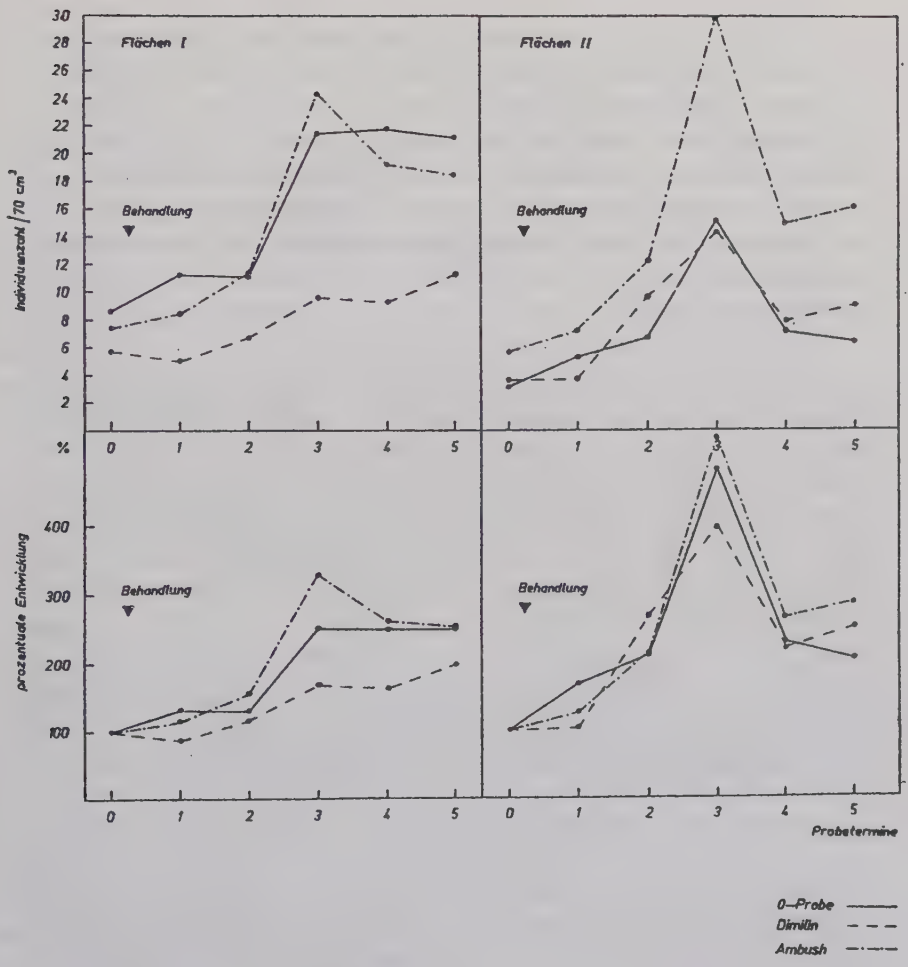


Abb. 27: Entwicklung der Besiedelungsdichte von H. gibba in den Flächen I und II nach aviotechnischer Applikation von Dimilin und Ambush. Oben: Anzahl Oribatiden pro Probe; unten: prozentuale Entwicklung unter Berücksichtigung der Besiedelungsdichte vor Behandlung.

Es ist zu bezweifeln, daß die in Versuchswiederholung I festgestellte geringere Dichte von H. gibba in der Dimilinfläche tatsächlich auf die Behandlung zurückgeführt werden kann. Zum einen waren im Labor auch bei hohen Dimilingaben keinerlei Häutungsstörungen bei den Jugendstadien zu beobachten, zum anderen deutet das Ergebnis eines Vorversuches auf der bereits beschriebenen Versuchsfläche im Forstenrieder Park darauf hin, daß auch im Freiland keine Beeinträchtigung zu erwarten ist.

Auf dieser Fläche war Dimilin in normaler Hektaraufwandmenge von 300 g in 200 l Wasser mittels eines Rückensprühgerätes direkt auf den Boden ausgebracht worden. Zur Gewinnung des Probenmaterials wurden sowohl auf dieser als auch auf der benachbarten O-Fläche jeweils 50 Bohrkerne aus 0 - 6 cm Tiefe mit der bereits beschriebenen Bodensonde gleichmäßig verteilt über die 400 m² große Parzelle entnommen. Um die Streuung der Werte einzuengen, wurden die Proben jeder Fläche vorsichtig zerkleinert und zu einer Mischprobe vereinigt, aus der jeweils zehn 50 cm³ fassende Proben gezogen und auf der Berlese-Tullgren-Apparatur ausgelesen wurden.

Wie Abb. 28 zeigt, ist zwar die Dichte zu Versuchsbeginn in den beiden Flächen unterschiedlich, die prozentuale Entwicklung der Population von H. gibba verläuft jedoch trotz des maximal denkbaren Niederschlages auf den Boden parallel.

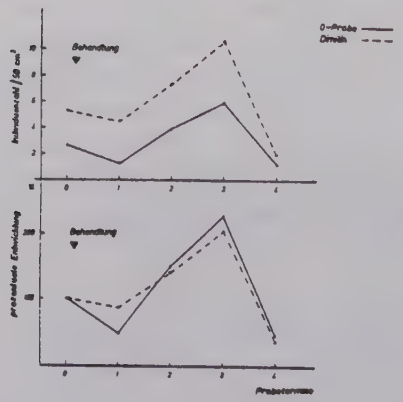


Abb. 28:

Entwicklung der Besiedelungsdichte von H. gibba nach Applikation von Dimilin mittels Rückensprühgerät direkt auf den Boden in der Versuchsfläche Forstenried. Oben: Anzahl Oribatiden pro Probe; unten: prozentuale Entwicklung unter Berücksichtigung der Besiedelungsdichte vor Behandlung. (Probetermine: 0 = vor Behandlung, 1 = 2 Tage, 2 = 1 Monat, 3 = 2 Monate, 3 = 2 Monate, 4 = 4 Monate nach Behandlung.)

4.6.4. Ergebnisse der Bodenfallenauswertung

Die mit Hilfe von Bodenfallen ermittelte Aktivitätsdichte von Bodentieren ist nicht geeignet, Rückschlüsse auf die tatsächliche Besiedelungsdichte der einzelnen Arten zu ziehen, da die Anzahl der in einer Falle arretierten Tiere nicht nur von der vor Ort herrschenden Populationsdichte abhängig ist, sondern vor allem von deren Aktivität zum Zeitpunkt der Fallenaufstellung. Aus diesem Grund wird auf eine jahreszeitliche Deutung der in Abb. 29[1)] aufgetragenen Fangergebnisse verzichtet. Die Methode erlaubt jedoch den relativen Dichtevergleich unterschiedlich behandelter Flächen

Wie aus den Tafeln der Varianzanalyse (Anhang 14 - 16) ersichtlich, ergaben sich für die beiden Arten T. flavescens und O. flavescens, aber auch für die Familie der Entomobriidae insgesamt, signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen (unbehandelt, Dimilin und Ambush) und den verschiedenen Probeterminen (O = vor Behandlung, 1 - 5 = nach Behandlung). Bei T. flavescens läuft, trotz nahezu identischer Fangzahlen vor der Applikation, die Dimilinkurve zunächst knapp, aber zum 3. und auch 4. Termin (August bzw. Oktober) - nach den Zellenvergleichen in der parametrischen Anova - signifikant unter der O-Proben-Linie. Für den 3. Termin wird die Signifikanz auch über den simultanen Stichprobenvergleich in der Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse bestätigt. Die Ambushkurve läuft zwar nach den absoluten Fangzahlen über den beiden anderen Kurven, nach den relativen Ergebnissen (Abb. 29, unten) ist jedoch kein Unterschied zur O-Probe zu verzeichnen. Nach den Ergebnissen von 4.5.2.I. wäre eigentlich zu erwarten, daß sich die Dimilinbehandlung zu den

---

1) In Anhang 11 - 13 ist eine Übersicht der Mittelwerte, Standardabweichungen und Extremwerte für die ursprünglichen und die ln-transformierten Daten gegeben.

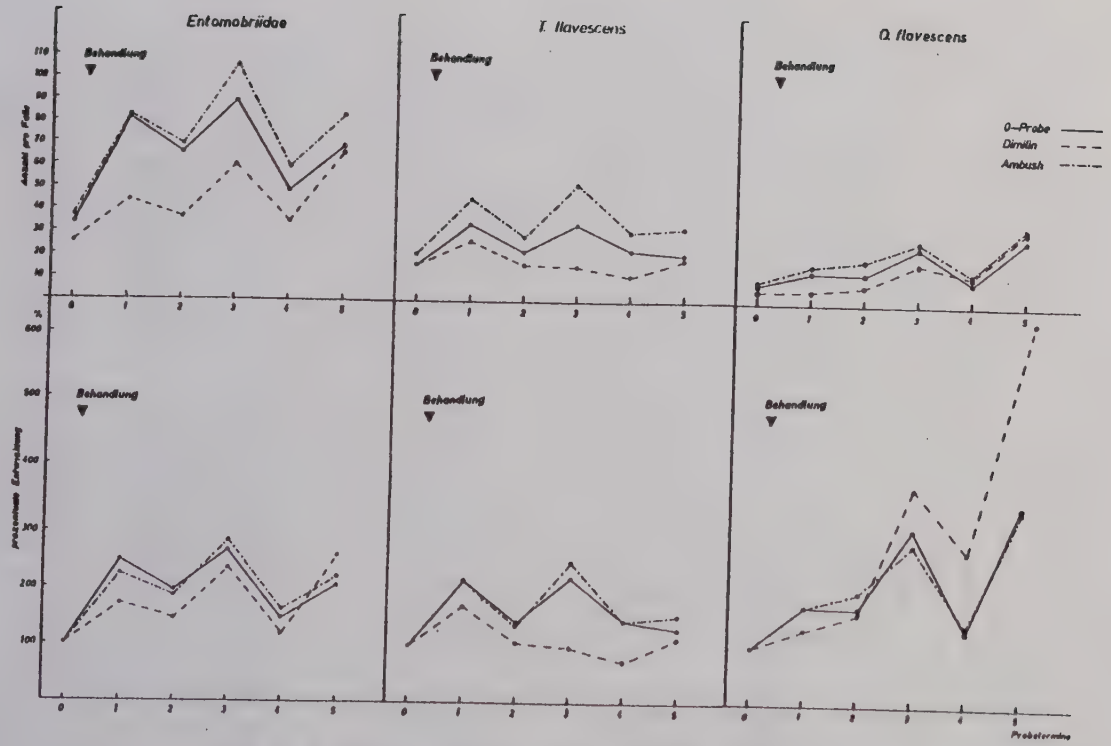


Abb. 29: Entwicklung der Aktivitätsdichte der Familie Entomobriidae, von T. flavescens und O. flavescens nach aviotechnischer Applikation von Dimilin und Ambush. Oben: Anzahl Collembolen pro Falle; unten: prozentuale Entwicklung unter Berücksichtigung der jeweiligen Aktivitätsdichte vor Behandlung.

Probeterminen unmittelbar nach Behandlung niederschlagen müßte. Innerhalb der Probetermine 1 und 2 sind allerdings keine gesicherten Unterschiede zu finden. Ein Hinweis für einen leichten Dimilineinfluß könnte lediglich die im Vergleich zu O-Probe und Ambush fehlende Signifikanz im Anstieg der Fangzahlen unmittelbar nach Applikation sein (Anhang 15).

Bei O. flavescens stellt sich das Problem, daß die Fangergebnisse bereits vor Behandlung auf den Dimilinstandorten geringer als auf denen der O-Flächen- und Ambushstandorte (hier sogar signifikant) ausfallen. Dies wirkt sich verstärkt zu den beiden Kontrollterminen nach Applikation aus, während zum Termin 3, im August 1981, ein signifikanter Anstieg der Fallenfänge eintrat (Anhang 16), der bewirkte, daß zu den weiteren Probeterminen keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen den drei Behandlungen mehr zu verzeichnen sind.

In Abb. 29 (unten) wird dieses Aufholen der Dimilinstandorte in einem stetigen prozentualen Anstieg zu den späteren Fangterminen ersichtlich, der teilweise mit einem prozentualen Rückgang der Fänge bei T. flavescens in der Dimilinbehandlung korrespondiert.

Die statistischen Ergebnisse, die mit einer unter 4.6.3.3. vorgestellten Variablen LRX (mit direkter Berücksichtigung der Fallenfänge vor Applikation) in einer zweifachen Varianzanalyse zu erzielen wären, würden ebenfalls bei T. flavescens zum 3. und 4. Termin nach Behandlung (August bzw. Oktober 1981) signifikante Unterschiede aufdecken, nach der Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse würde lediglich zum Termin 3 ein gesicherter Unterschied zwischen Dimilin und Ambush zu finden sein. Unter Berücksichtigung der Ausgangsdichte (LRX) wäre bei O. flavescens ein signifikantes Ergebnis erst zum Termin 4 (Oktober 1981) und Termin 5 (Mai 1982) erkennbar. Auch hier ergäbe der parameterfreie Test (Kruskal-Wallis) nur für die Fallenaufstellung im Oktober ein statistisch gesichertes Resultat. Bei

T. flavescens und O. flavescens käme die statistische Auswertung mit beiden Variablen - LX und LRX - zu ähnlichen Ergebnissen, wobei die parametrische Anova grundsätzlich öfter signifikante Ergebnisse erbringt als der parameterfreie Kruskal-Wallis-Test.

Bei der gemeinsamen Auswertung aller zur Familie Entomobriidae gehörenden Collembolen (lnx) ergab sich zu beiden an die Applikation anschließenden Kontrollterminen sowohl nach dem parametrischen als auch nach dem parameterfreien Verfahren eine signifikante Verringerung der Aktivitätsdichte auf den Dimilinfallenstandorten gegenüber der O-Probe und der Ambushvariante; zu den Terminen 3 und 4 ist nur noch bei der parametrischen Anova ein Unterschied zwischen Ambush und Dimilin gegeben. Allerdings war schon vor der Behandlung eine fast signifikante Differenz zwischen diesen beiden Behandlungsvarianten vorhanden; auch die O-Fläche lag in der Aktivitätsabundanz über der Dimilinfläche. Aus diesem Grund sind bei einer Einbeziehung der ursprünglichen (Termin 0) Fangzahlen durch die Berechnung mit der Variablen LRX zu keinem Termin statistisch gesicherte Behandlungseinflüsse nachzuweisen. Dies bedeutet, daß die Aktivitätsdichte der Entomobriiden sich quantitativ durch die aviotechnische Behandlung mit Dimilin nicht oder nur in geringem Maße verändert hat, in ihrer qualitativen Zusammensetzung jedoch Verschiebungen zugunsten nicht empfindlicher Arten erfahren haben muß. Ambush scheint dagegen weder qualitativ noch quantitativ in die Entomobriidenfauna eingegriffen zu haben. Betrachtet man die Entwicklung des zahlenmäßigen Verhältnisses der empfindlich auf Dimilin reagierenden Entomobriiden T. flavescens und der unempfindlichen Art O. flavescens[1] über die verschiedenen Probetermine hinweg, so nimmt der Anteil von T. flavescens nach Behandlung mit Dimilin im Vergleich zu den

---

1) $\bar{x}_{\text{T. flavescens}} : \bar{x}_{\text{O. flavescens}}$

beiden anderen Varianten überproportional ab. In Abb.30 ist der Verlauf der Quotienten wiedergegeben. Während auch hier zwischen 0-Probe und Ambush keine großen Abweichungen festzustellen sind, fällt die zu Versuchsbeginn deutlich höher liegende Dimilinkurve zum Termin 2 und vor allem zum Termin 3 steil ab und läuft dann sogar unter den beiden anderen Kurven weiter.

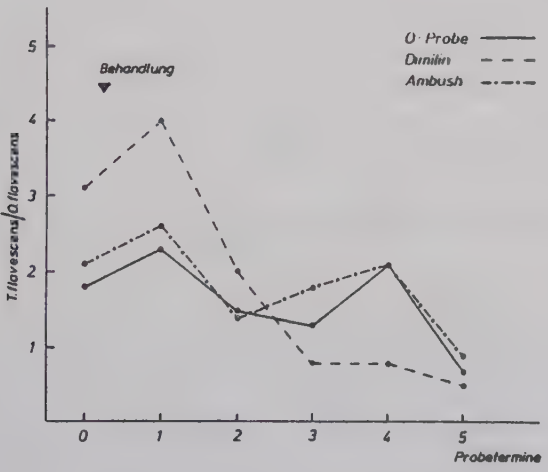


Abb. 30: Entwicklung des zahlenmäßigen Verhältnisses der beiden dominanten Entomobriidenarten nach aviotechnischer Behandlung von Dimilin und Ambush.

5. DISKUSSION

Zur Einschätzung der Wirkung von Dimilin und Ambush auf bodenbewohnende Collembolen und Oribatiden ist die Kenntnis und Erfassung einer Vielzahl von in Wechselwirkung stehenden Faktoren nötig. Mit den im folgenden diskutierten Untersuchungen sollte zu der Frage beigetragen werden, inwieweit die praxisübliche Bekämpfung von Raupen oder Blattwespenlarven mit dem Hubschrauber die Collembolen- und Oribatidenfauna berührt. Neben der Empfindlichkeit einzelner Arten sollte hierbei die Größenordnung des bei aviotechnischer Applikation auf den Waldboden gelangenden Sprühmittelniederschlages, seine Verteilung und Persistenz auf dem Boden und sein Eindringvermögen in den Boden betrachtet werden.

Eine aviotechnische Bekämpfung zielt darauf ab, im Kronenraum eine gute Abdeckung mit einem Insektizid zu erhalten. Die von SKATULLA (1975) genannte Zahl von 37 Tröpfchen/cm², bei Applikation mit einem Hubschrauber vom Typ Bell 47, dürfte sich auf einen Sprühbelag beziehen, der entsprechend einer geringen Flughöhe über dem Bestand im Bereich der Baumkronen zu erwarten ist. Auf dem Waldboden trifft dagegen nach eigenen Untersuchungen mit weniger als 1 Tröpfchen/cm² in überschirmten Partien und nur wenigen Tröpfchen/cm² unter Lücken im Kronendach ein sehr viel spärlicherer Belag auf. Unter den geschilderten technischen Bedingungen (4.3.2.) findet eine Verteilung der Sprühtröpfchen wie in Abb. 22 (Mitte und unten) statt. Mikrotröpfchen, die theoretisch eine flächige Abdeckung zwischen den optisch erfaßbaren Makrotröpfchen bewirken könnten, waren nicht nachweisbar. Auch von PAUSCH (mündliche Mitteilung, 1983) angestellte Sprühbelagsuntersuchungen mit der fluoreszierenden Farbe „Uranin" erbrachten keinen Hinweis auf eventuell vorhandene Mikrotröpfchen.

In Biotest-Versuchen mit dem Collembolen Isotomiella minor

ergab sich, daß nach einer Hubschrauberapplikation von Dimilin in der praxisüblichen Aufwandmenge von 300 g/ha eine wenn auch geringe Abwaschung des Wirkstoffes aus dem Kronenraum durch Regenwasser stattfindet. Dies führt zu einer zusätzlichen flächigen Belastung des Bodens. Zudem wird über die auftreffenden Regentropfen der Sprühbelag am Boden in gewissem Umfang verteilt und zusammen mit dem nachgewaschenen Dimilinniederschlag aus dem Kronenraum in den obersten Millimetern Streu adsorbiert. Eine Auswaschung von Dimilin in tiefere Streulagen war mit den Biotestverfahren mit Isotomiella minor und Musca domestica nicht nachzuweisen. Von einem Dimilineinsatz sind daher in erster Linie Vertreter des Epedaphon und des Hemiedaphon betroffen.

7 Collembolenarten aus diesen Schichten zeigten in eigenen Laboruntersuchungen beträchtliche Toleranzunterschiede: Nur 4 Arten reagierten in sehr unterschiedlichem Ausmaß auf Dimilin, 3 zeigten gar keine Wirkung.

Im Freiland spielt bei den relativ weniger empfindlichen Arten die Überschirmung und die davon abhängige Verteilung der Sprühtröpfchen auf dem Boden eine wichtige Rolle. So wiesen Collembolen der Art Tomocerus flavescens, die einige Tage nach Hubschrauberausbringung von Dimilin aus der Streu überschirmter Probestellen ausgelesen und im Labor weiter gehalten wurden, im Vergleich zu den aus nicht beschirmten Partien stammenden Tieren deutlich geringere Sterberaten auf. Dies wird zurückgeführt auf den größeren Abstand der einzelnen Sprühtröpfchen am Boden, entsprechend der durch Ausfilterung im Kronenraum bedingten geringeren Tröpfchenzahl, die eine zufällige Aufnahme weniger wahrscheinlich macht.

Bei I. minor gilt dagegen festzuhalten: Zum einen reagiert die Art auf Dimilin so sensibel, daß geringe Konzentrationen, wie im Regenwasser aus dem Kronenraum, bei ihr letale Häutungsschwierigkeiten hervorrufen können. Zum zweiten waren die Aus-

wirkungen im Freiland bei dieser Art jedoch nicht so gravierend wie bei dem - absolut gesehen - weniger empfindlichen Collembolen T. flavescens. Somit kommt der Art I. minor sicherlich ein räumlicher Schutzfaktor zugute.

Dagegen stellen sich die Verhältnisse bei der Art Tomocerus minor wieder anders dar. Trotz nachgewiesener Empfindlichkeit gegenüber Dimilin im Labor zeigte dieser Collembole nach Hubschrauberapplikation keinerlei Häutungsstörungen. Nach GISIN (1943) kommen zwar T. flavescens und T. minor auf einem Standort häufig gemeinsam vor, doch stellt T. minor hinsichtlich Feuchtigkeit höhere Ansprüche. Auch JOOSE (1970) beschreibt eine enge Bindung von T. minor an feuchtes Milieu. Es ist daher zu vermuten, daß T. minor im Freiland in etwas tieferen und damit feuchteren Streulagen als T. flavescens vorkommt und somit räumlich eher von kontaminiertem Substrat getrennt ist. Der mit dem Regen gleichmäßig in den obersten Millimetern Streu verteilte Dimilinbelag spielt bei T. minor wegen dessen geringerer Empfindlichkeit im Gegensatz zu I. minor keine Rolle.

Bedenkt man, daß bei manchen Arten zu einer artspezifischen auch noch eine altersspezifische Empfindlichkeit hinzukommt (für T. flavescens nicht nur im Labor, sondern auch im Freiland nachgewiesen), und daß von den einzelnen Stadien möglicherweise unterschiedliche Bereiche mit unterschiedlicher Dimilinbelastung in der organischen Auflage bevorzugt werden, so kann ermessen werden, daß eine Prognose hinsichtlich der Nebenwirkungen von Dimilin, allein auf die Collembolenfauna und selbst nur auf einen einzelnen Bestand beschränkt, nur schwer durchgeführt werden kann.

Dies konnte anhand vergleichbarer Versuchsflächen im Ebersberger Forst nachgewiesen werden. Zum einen handelte es sich um die längerfristig kontrollierten Probeflächen, die 1981 angelegt und mit Dimilin aviotechnisch behandelt worden waren, und

zum anderen um die 300-g-Fläche des Konzentrationsversuches von 1983. Bei beiden Applikationen gelangten nahezu identische Dimilinmengen auf den Boden. Während in den Flächen von 1981 zu den Probeterminen, die unmittelbar auf die Behandlung folgten, keine signifikanten Verringerungen der Aktivitätsdichte von T. flavescens festgestellt werden konnten, waren bei kurzfristigen Laborbeobachtungen wildgefangener Collembolen dieser Art nach der Applikation von 1983 selbst unter Schirm sehr hohe Sterberaten (46 %) zu beobachten. Diese Diskrepanz in den Auswirkungen auf T. flavescens nach den beiden Applikationen ist möglicherweise durch einen 2 Stunden nach Behandlung (1981) einsetzenden heftigen Gewitterregen zu erklären, der zu der bereits erwähnten Ausdünnung der Sprühtröpfchen auf dem Boden geführt haben könnte. Dagegen setzte 1983 der erste Starkregen erst 5 Tage nach Applikation ein, so daß durch den längeren Zeitraum auch die Wahrscheinlichkeit vergrößert wurde, zufällig auf ein Dimilintröpfchen zu stoßen.

In geringem Umfang scheint T. flavescens bei dieser Applikation aber dennoch getroffen worden zu sein, da sich ansonsten die zum 3. und 4. Probetermin (ca. 3 und 5 Monate) nach Behandlung die im Vergleich zur 0-Probe und Ambush verringerte Aktivitätsdichte nicht erklären ließe. Neben einer geringen, statistisch nicht nachweisbaren Abschöpfung juveniler und fortpflanzungsfähiger Tiere wäre nach den Ergebnissen im Labor denkbar, daß Fertilität und Fekundität dieser Tiere beeinflußt worden waren. Eine ovizide Wirkung dürfte allerdings infolge der fast durchweg größeren Empfindlichkeit der beweglichen Stadien höchstens eine untergeordnete Rolle gespielt haben.

Eine geringere Ausbeute an Jungtieren konnte auch in den unter 4.5.2.2. dargestellten Versuchen zur kurzfristigen Populationsentwicklung (Versuchsdauer 4 - 6 Wochen) beobachtet werden. Hierbei waren eben geschlechtsreif gewordene Collem-

bolen der Art T. flavescens in aviotechnisch behandelte Töpfe mit gewachsenem Boden eingesetzt worden, aus denen zuvor alle übrigen Arthropoden ausgelesen worden waren. Möglicherweise spielte bei diesen Versuchen neben den angeführten Begründungen auch noch eine gewisse Mortalität der geschlüpften sehr empfindlichen Jungtiere infolge der ausgeprägten Persistenz von Dimilin eine Rolle.

Bei den mit I. minor durchgeführten Ansätzen zeigte sich deutlich der Einfluß des Regens. Während die zahlenmäßige Ausbeute in den Gefäßen, die bei der Applikation im Bestand überschirmt aufgestellt waren, der der 0-Probe entsprach, war in den Töpfen, die bis zum nächsten Starkregen im Bestand belassen wurden, sowie in zunächst unbehandelten Gefäßen, die ebenfalls unter Schirm bei Regen aufgestellt worden waren, nur ein Bruchteil (11 - 15 %) davon vorzufinden.

Obwohl anscheinend auch bei den längerfristigen Populationsuntersuchungen eine gewisse Reduzierung der Dichte von I. minor gegeben war, waren derart extreme Einflüsse durch Dimilin nicht erkennbar. Hier wird deutlich, daß Eingriffe in ein multifaktorielles Geschehen in ihren Auswirkungen schwer abzuschätzen sind.

Wie die längerfristigen Freilanduntersuchungen erbrachten, wurden durch die Behandlung mit Dimilin indirekt auch nicht empfindliche Collembolen beeinflußt. Mit einem Rückgang von T. flavescens etwa 3 und 5 Monate nach Applikation - der sich allerdings nach 1 Jahr wieder ausglich - war eine Steigerung der Aktivitätsdichte von Orchesella flavescens verbunden, einer nach den Laborergebnissen völlig unempfindlichen Art. Die Fallenfänge dieser Art nahmen dabei nicht nur relativ zu, was sich ja zwangsläufig durch den geringer werdenden Anteil der dominanten Art T. flavescens ergeben hätte, sondern erhöhten sich auch absolut. Dies läßt möglicherweise auf eine gewisse

Konkurrenz der beiden Arten schließen. Verschiebungen der Dominanzverhältnisse durch einen Rückgang empfindlicher Arten zugunsten nicht empfindlicher Arten, wie von DOPPELREITER (1978) nach direkter Bodenapplikation von Dimilin mittels Rückensprühgerät beschrieben, sind also auch nach aviotechnischer Applikation zu erwarten.

In den Freilanduntersuchungen mit Dimilin wurden in erster Linie Collembolen berücksichtigt, da die untersuchten Oribatiden sich in den Labortests als völlig unempfindlich gegenüber Dimilin erwiesen hatten. Zudem erscheinen arthropleone Collembolen auch deshalb als besonders gefährdet, da sie nicht nur in der juvenilen Phase, sondern ebenso nach der Geschlechtsreife zahlreiche Häutungen vollziehen. Im Gegensatz zu den meisten anderen Insektenordnungen werden so auch adulte Tiere nicht nur durch eine mehr oder weniger starke Beeinflussung von Fertilität und Fekundität getroffen, sondern unmittelbar letal geschädigt.

Die Auswertung der Bodenproben aus den längerfristigen Probeflächen im Ebersberger Forst hinsichtlich der Hornmilbe Hermannia gibba erbrachten in einer der beiden Dimilinflächen eine Reduzierung der Besiedelungsdichte. Eine direkte Einflußnahme von Dimilin auf diese Art kann nach den Laborergebnissen ausgeschlossen werden. Auch in einem Vorversuch im Forstenrieder Park konnte nach der Applikation der gleichen Hektaraufwandmenge (in 200 l Wasser), ausgebracht mittels Rückensprühgerät direkt auf den Boden, keine Beeinflussung von H. gibba festgestellt werden. Da die Belastung des Bodens mit Dimilin in der genannten Versuchsfläche im Ebersberger Forst jedoch wesentlich geringer war[1)], ist es unwahrscheinlich, daß der Rückgang dieser Milbenart in Zusammenhang mit der Behandlung steht. Möglicherweise spielen beim Zustandekommen dieses Resultats auch von

---

1) Persistenz in Dimilinfläche I, Ebersberg ca. 2 Monate; in Versuchsfläche Forstenried ca. 7 Monate

BÄUMLER (1969) genannte Faktoren eine Rolle. So ist als erstes zu bedenken, daß bei dem angewandten dynamischen Ausleseverfahren nur Tiere im aktiven Zustand erfaßt werden. Da Oribatiden vor jedem Häutungsschritt ein Ruhestadium einlegen, das bei den Larven von H. gibba 10 Tage, bei den folgenden Nymphenstadien sogar noch länger andauert, wäre es denkbar, daß die unbeweglichen Tiere auch bei mehrtägiger Auslese nicht ausgetrieben werden können. Unter Umständen kann eine Überlagerung der Ergebnisse aber auch durch eine Variation der Entwicklungsdauer oder durch einen unterschiedlichen Zeitpunkt des Schlüpfens der Larven bedingt sein. Auch parasitische Protozoen könnten nach BÄUMLER eine Verzögerung der Entwicklung bewirken.

Diese Gründe könnten auch Einfluß genommen haben auf die Ergebnisse der von RADWAN und ABO-KORAH (1979) durchgeführten Untersuchungen der Milbenpopulationen eines ägyptischen Gurkenfeldes nach Behandlung mit verschiedenen Insektiziden, darunter Dimilin. Es erscheint sehr unwahrscheinlich, daß ein als Häutungshemmstoff wirkendes Insektizid bereits 2 Tage nach Behandlung die untersuchten Milbenordnungen, darunter die Oribatiden, drastisch reduziert haben soll. Möglicherweise handelte es sich bei der Verringerung der Milbendichte aber auch um einen Effekt, der auf Formulierungsstoffe zurückgeführt werden kann. Die Autoren hatten auf die Versuchsparzellen eine körnige Formulierung mit 5 % Wirkstoff in einer Menge von etwa 12,5 kg/ha direkt auf den Boden gestreut und 24 Stunden später eingeschwemmt.

Durch einen Einsatz des Pyrethroids Ambush konnte bei den untersuchten Arten weder im Labor noch im Freiland eine nennenswerte Beeinträchtigung beobachtet werden. Dies steht im Einklang mit den vom Hersteller gemachten Angaben.

Untersuchungen von ISHAAYA und CASIDA (1981) ergaben, daß Pyrethroidesterase(n) eine bemerkenswerte Toleranz von Florfliegennymphen gegenüber Pyrethroiden bewirken. Möglicherweise

sind auch die hier untersuchten Bodentierarten mit einem rasch wirkenden Enzym zur Entgiftung von Pyrethroiden ausgestattet. Einschränkend muß jedoch gesagt werden, daß die festgestellte relativ geringe Empfindlichkeit der untersuchten Arten nicht ausschließt, daß andere Bodentierarten oder -ordnungen nicht doch sensibel auf Ambush reagieren.

Verschiedene Autoren berichten, daß bei der Verwendung von Permethrin, dem Wirkstoff von Ambush, zur Bekämpfung der Spinnmilbe Tetranychus urticae verschiedene räuberische Milben wesentlich empfindlicher reagierten als der Schädling (ROUSH und HOY, 1978; ROCK, 1979; BOWER und KALDOR, 1980). Daher wäre insbesondere zu prüfen, inwieweit bodenbewohnende Raubmilben durch eine Behandlung mit dem Pyrethroid in Mitleidenschaft gezogen werden.

Eine Dezimierung der Gamasiden hätte im Freiland unter Umständen eine Dichteerhöhung ihrer Beutetiere, also vor allem kleinerer Collembolen zur Folge. Eine solche konnte in den längerfristigen Freilandversuchen bei I. minor jedoch nicht eindeutig belegt werden, wenn auch in einer der beiden Ambushflächen (Fl. II) teilweise ein allerdings nicht signifikanter Anstieg gegenüber der 0-Probe zu verzeichnen war.

Nach den durchgeführten Untersuchungen scheint Ambush die geringeren Nebenwirkungen auf die untersuchten Arten auszuüben. Jedoch sind bei der Entscheidung, welches Mittel gegen einen bestandsbedrohenden Schädling einzusetzen ist bzw. ob überhaupt eine Bekämpfung durchgeführt werden soll, auch noch andere ökologische Aspekte zu berücksichtigen (z. B. Schädigung von Parasiten und Räubern). Nach SCHWENKE (1979) bedeutet jeder starke Kronenfraß eine schwere Störung des Ökosystems. „Mit dem Verlust der gesamten oder eines Großteils der Kronenmasse werden Tausende von phytophagen und zoophagen Gliedern der Kronenfauna

vernichtet, wodurch das biologische Gleichgewicht des Waldes auf das schwerste gestört wird. Der Wald geht aus einer solchen Katastrophe stark geschwächt und schädlingsdisponiert hervor." Es gilt zu bedenken, daß ein Kahlfraß sicherlich auch nicht ohne Auswirkungen auf die Bodenfauna bleiben würde.

Vielleicht könnte jedoch beim Einsatz von Dimilin in Erwägung gezogen werden, nicht generell gegen jeden Schädling die gleiche Hektaraufwandmenge auszubringen. Würde man der artspezifischen Empfindlichkeit unterschiedlicher Schadinsekten Rechnung tragen, würde vermutlich häufig eine geringere Menge an Dimilin benötigt werden. Dadurch könnten, wie die Hubschrauber-Konzentrationsversuche zeigten, die Nebenwirkungen auf die untersuchten Arten wesentlich verringert werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Nebenwirkungen des Häutungshemmstoffes Dimilin und des in geringerem Umfang als Vergleichsmittel in die Versuche einbezogenen Pyrethroides Ambush auf Bodentiere.

Zunächst wurden unter konstanten Bedingungen im Labor grundsätzliche Reaktionsmöglichkeiten untersucht. Die Untersuchungen zur Mortalität erbrachten bei Collembolen große artspezifische Unterschiede in der Empfindlichkeit gegenüber Dimilin. Das Spektrum reichte von völliger Unempfindlichkeit (Orchesella flavescens, O. villosa und Lepidocyrtus lanuginosus) bis zu Häutungsschwierigkeiten bei Konzentrationen, die bereits im ppb-Bereich liegen (Isotomiella minor). Von den empfindlich reagierenden Arten Isotomiella minor, Folsomia candida, Tomocerus flavescens und Tomocerus minor wurden die LC_{50}-Werte mit Hilfe der Probitregressionsanalyse ermittelt. Die ebenfalls mittels Probitanalyse errechneten mittleren Absterbezeiten für I. minor und T. flavescens verkürzten sich mit zunehmender Mittelkonzentration. Bei T. flavescens wurde eine konzentrationsabhängige Palette an Häutungsstörungen aufgezeigt.

Im Gegensatz zu den artspezifischen Toleranzunterschieden gegenüber Dimilin erwiesen sich die drei Arten I. minor, F. candida und T. flavescens gegenüber Ambush als einheitlich sehr wenig empfindlich.

Bei Untersuchungen mit unterschiedlich alten Collembolen zeigten sich bei T. flavescens die jüngeren Stadien gegenüber Dimilin als signifikant empfindlicher, während bei F. candida keine altersspezifischen Wirkungsdifferenzen festgestellt wurden.

Eine Haltung bei verschiedenen Temperaturen (9 °C, 18 °C, 27 °C) wirkte sich bei jeder von drei mit Dimilin behandelten

Collembolenarten anders aus: T. flavescens wies bei tieferen Temperaturen, F. candida bei hoher Temperatur deutlich niedrigere Wirkungsgrade auf, I. minor verhielt sich indifferent. Entsprechend den mit steigender Temperatur sich verkürzenden Häutungsintervallen ergab sich dagegen vor allem zu Versuchsbeginn bei den drei Arten ein gleichgerichteter, temperaturabhängiger Absterbeverlauf.

Die ovizide Wirkung von Dimilin auf Eier von T. flavescens, F. candida und I. minor war unterschiedlich ausgeprägt. Nach dem Chorionsprung behandelte Eier blieben fast gänzlich unbeeinflußt, aber auch vor Eintritt des Chorionsprunges mit Dimilin in Berührung gebrachte Eier erwiesen sich bei vergleichbaren Konzentrationen in der Regel immer noch als weniger empfindlich als die beweglichen Stadien. Von Ambush ist nach diesen Untersuchungen keine nennenswerte ovizide Wirkung auf Collemboleneier zu erwarten.

Bei Collembolen der Art F. candida wurde durch Dimilin und Ambush die zeitliche Abfolge der Eiablage beeinflußt. Ambush wirkte sich zunächst stimulierend aus, während sich die Eiablage unter dem Einfluß von Dimilin im Vergleich zur 0-Probe verzögerte. Die Schlupfrate der abgelegten Eier war durch Dimilin im Vergleich zur Ambush- und 0-Probe stark erniedrigt, solange die Tiere behandeltes Futter erhielten. Untersuchungen zur Wirkung von Dimilin auf Fertilität und Fekundität der Art T. flavescens bestätigten die mit F. candida erzielten Ergebnisse.

Dimilin und Ambush besaßen in freilandähnlichen Konzentrationsbereichen keine Repellenteigenschaften gegenüber dem Collembolen F. candida.

Die untersuchten Oribatiden wurden nach den im Labor erzielten Ergebnissen durch Dimilin nicht und durch Ambush kaum

beeinträchtigt. Eine Behandlung von Nymphenstadien der Hornmilben Hermannia gibba, Nanhermannia elegantula und Nothrus silvestris mit Dimilin ließ selbst in hohen Konzentrationen keinerlei Beeinträchtigung bei der Häutung erkennen. Auch gegenüber einer Behandlung mit Ambush erwies sich H. gibba als weitgehend tolerant. Auf Eier von H. gibba konnte weder durch Dimilin noch durch Ambush irgendein negativer Effekt ausgeübt werden. Desgleichen blieb die Höhe der Nachkommenschaft dieser Art von Dimilin unbeeinflußt; sowohl Anzahl abgelegter Eier als auch der Schlüpferfolg lagen in der Größenordnung der 0-Probe. Schließlich gingen von Dimilin und von Ambush auch keine Repellentwirkungen auf H. gibba aus.

Die Freilanduntersuchungen fanden größtenteils in 80- bis 95jährigen Fichtenbeständen des Ebersberger Forstes statt. Sie beschäftigten sich zunächst mit der Quantifizierung und Persistenz des Dimilinniederschlages nach praxisüblicher Hubschrauberapplikation. Im Vergleich zu einer Freifläche erreichten im noch geschlossenen Fichtenbestand 10 bis 18 % der Sprühtröpfchen den Boden. Versuche zum Nachweis evtl. vorhandener Mikrotröpfchen, welche mittels Glasplatten nicht sichtbar gemacht werden können, erbrachten negative Befunde.

Für die Untersuchungen zur Persistenz von Dimilin wurde einerseits ein Biotest-Verfahren mit der Stubenfliege Musca domestica (nach BARTH, 1981) durch Einführung von Aceton und Cellulose p. a. als Lösungs- bzw. Adsorptionsmittel modifiziert. Dadurch erhöht sich die Ausbeute bei der Eluation von Dimilin aus dem Probematerial. Andererseits wurde ein Verfahren zum Nachweis von Dimilinrückständen mit Collembolen entwickelt.

Nach Hubschrauberapplikation der praxisüblichen Aufwandmenge von 300 g in 40 l Wasser pro ha war Dimilin auf dem Boden des Versuchsbestandes noch 2 Monate nachweisbar. Dem

steht gegenüber eine 7monatige Persistenz der gleichen Hektaraufwandmenge nach Ausbringung in 200 l Wasser mittels eines Rückensprühgerätes direkt auf den Boden. Nach den Ergebnissen der Biotestverfahren bestätigt sich, daß Dimilin in der obersten Streuschicht adsorbiert bleibt und keiner weiteren Auswaschung in tiefere Streuschichten unterliegt. Im Gegensatz dazu konnte gezeigt werden, daß Regen aus dem Kronenraum Dimilin in Mengen auf den Boden abwäscht, die auf den hochempfindlichen Collembolen I. minor insektizid wirken. Somit besteht über den direkten Sprühbelag hinaus eine spätere, flächig wirkende Dimilinbelastung des Bodens. Keine weitere Bodenbelastung erbrachte dagegen der herbstliche Abfall von Kronenmaterial des untersuchten Fichtenbestandes.

Im zweiten Teil der Freilandversuche wurde geprüft, inwieweit die im Labor gefundenen Empfindlichkeiten von Collembolen gegenüber Dimilin durch Einflüsse wie Applikationsform, Überschirmungsgrad, Regen etc. überlagert oder verändert werden. Einige Tage nach Applikation wurden Collembolen aus Streuproben ausgelesen und im Labor hinsichtlich Häutungsstörungen und Mortalität weiterbeobachtet. So wurden zwei Tage nach direkter Bodenapplikation von Dimilin in unterschiedlicher Konzentration Collembolen der Art T. flavescens ausgelesen. Regressionsanalytisch wurde für diese Tiere eine mittlere letale Aufwandmenge von ca. 17 g/ha errechnet. Verblieben die Tiere nach Applikation länger in den behandelten Parzellen, so erhöhten sich die Mortalitätsraten durch die Persistenz von Dimilin auch bei geringeren Aufwandmengen. Der Collembole I. minor wurde bei derartiger Applikation im Vergleich zu der extremen Empfindlichkeit im Labor nur mäßig getroffen. So zeigten Wildfänge dieser Art aus behandelten Parzellen erst bei Aufwandmengen von 300 g pro ha hohe Sterberaten.

Bei aviotechnischer Applikation spielte bei der Art T. flavescens neben der Konzentration die Überschirmung eine wichtige

Rolle hinsichtlich auftretender Dimilinschädigungen. Die Mortalität von Tieren aus nicht überschirmten Bestandesteilen betrug fast 80 % in der 300-g-Fläche, 18 % in der 100-g-Fläche und 13 % in der 30-g-Fläche. In überschirmten Partien ergaben sich in Abhängigkeit von der Konzentration Sterberaten von rund 46 %, 11 % bzw. 0 %. Demgegenüber hat die Überschirmung auf die Gefährdung des Collembolen I. minor keinen nachhaltigen Einfluß. Die durchschnittliche Mortalität von Collembolen aus nicht überschirmten Partien und aus überschirmten Partien der 300-g-Fläche lag bei 28 % bzw. 22 %. Tiere aus überschirmten Probestellen, die während der 300-g-Applikation abgedeckt waren und die nur über nachfolgende Niederschläge mit Dimilin in Kontakt kamen, zeigten in 10 % die typischen Häutungsstörungen. Die Mortalitätsraten der Collembolen aus der 100-g-Fläche und der 30-g-Fläche lägen deutlich unter 10 %.

Für kurzzeitige Populationsuntersuchungen wurden eben geschlechtsreife Zuchttiere der Arten T. flavescens und I. minor in Töpfen gehalten, die zuvor mit gewachsenem Waldboden versehen und einer Hubschrauberapplikation von 300 g Dimilin/ha ausgesetzt worden waren. In Gefäßen, die bei Applikation unter Schirm gestanden hatten, betrug bei T. flavescens die Ausbeute an Jungtieren 4 - 6 Wochen nach Besatz 20 - 30 % im Vergleich zur 0-Probe. Gefäße, die unter einer Lücke im Kronendach aufgestellt waren, wiesen sogar nur 11 - 18 % Jungtiere im Vergleich zur 0-Probe auf. Bei I. minor verringerte sich die Ausbeute an ausgelesenen Collembolen um die Hälfte in den Töpfen, die während der Applikation nicht beschirmt standen, in beschirmten Gefäßen war kein Einfluß der Behandlung festzustellen. Dagegen wirkte sich eine Aufstellung der Töpfe unter Schirm bis nach dem ersten starken Regen gravierend aus. Sowohl aus Gefäßen, die bereits der Hubschrauberapplikation ausgesetzt waren, als auch aus Gefäßen, die erst nach Applikation, aber vor dem Regen in den Bestand gebracht worden waren, konnten nur 11 - 15 % der Collembolen der 0-Probe ausgelesen werden.

In langfristig kontrollierten Probeflächen, die aviotechnisch mit 300 g Dimilin bzw. 100 ml Ambush/ha behandelt worden waren, wurde die Populationsdichte des dominanten Collembolen I. minor und der dominanten Hornmilbe H. gibba mittels Bodenproben erfaßt. Die Aktivitätsdichte von 8 Collembolenarten der Familie Entomobriidae wurde unter besonderer Berücksichtigung zweier dominanter Arten mit Bodenfallen gemessen.

Wenn sich die Ergebnisse der Bodenprobenuntersuchungen aufgrund der Wahl von paramterfreien Testverfahren mit geringer Trennschärfe auch nicht in jedem Schritt statistisch absichern lassen, so scheint Dimilin doch eine über 1 Jahr andauernde Reduzierung der Abundanzen von I. minor zu bewirken. Eine negative Einflußnahme von Ambush ist dagegen anscheinend nicht gegeben.

Die untersuchten Entomobriiden wurden durch Ambush offenbar nicht beeinflußt, aber auch nach Applikation von Dimilin war höchstens eine geringfügige Änderung der Gesamtzahl festzustellen. Allerdings verschob sich unter dem Einfluß von Dimilin das Zahlenverhältnis der beiden dominanten Arten T. flavescens und O. flavescens. Einem Rückgang der Fallenfangergebnisse der empfindlichen Art T. flavescens zum 3. Termin (drei Monate) nach Behandlung stand eine nicht nur relative, sondern sogar absolute Zunahme der Aktivitätsdichte der unempfindlichen Art O. flavescens zu den späteren Probeterminen gegenüber.

Bei der Hornmilbe H. gibba ergab sich zwar in einer der beiden Dimilinflächen eine signifikante Absenkung der Besiedelungsdichte, doch scheint diese nicht durch die Behandlung, sondern durch andere Faktoren, die diskutiert werden, hervorgerufen zu sein. Die Behandlung mit Ambush wirkte sich auf die Dichte von H. gibba nicht aus.

7. LITERATURVERZEICHNIS

ABBOTT, W. S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18, 265-267.

ASCHER, K. R. S., NEMNY, N. E., ISAHAAYA, J., 1980: The Toxic Effect of Diflubenzuron on Spodoptera littoralis Eggs and on Their Respiration. Pestic. Sci. 11, 90 - 94.

BÄUMLER, W., 1969: Zur Morphologie, Biologie und Ökologie von Hermannia gibba (C. L. Koch) (Acarina: Oribatei) unter Berücksichtigung einiger Begleitarten. Diss. München, 144 S.

BÄUMLER, W., SALAMA, H. S., 1976: Some biochemical changes inducted by Dimilin in the Gipsy moth Porthretia dispar L.. Z. ang. Ent. 81, 304-310.

BARBER, H., 1931: Traps for cave-inhabiting insects. J. Elisha Mitchell Sci. Soc. 46, 259 - 266.

BARTH, A., 1981: Untersuchungen über Rückstandswirkungen des Häutungshemmstoffes Dimilin im Waldboden mittels eines neuen Biotestverfahrens. Anz. f. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 54, 164-169.

BERLESE, A., 1905: Aparecchio per raccogliere presto ed in gran numero piccoli arthropodi. Redia 2, 85.

BIERINGER, H., 1969: Untersuchungen über den Einfluß langjähriger Herbizidanwendung auf Boden-Collembolen. Diss. Hohenheim, 54 S.

BIOL. BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1982: Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis, Teil 4, Forst.

BOWER, C. C., KALDOR, J., 1980: Selectivity of Five Insecticides for Codling Moth Control: Effects on the Twospotted Spider Mite and Its Predators. Environ. Ent. 9 (1), 128 - 132.

CARRINGER, R. D., WEBER, J. B., MONACO, T. I., 1975: Adsorption-Desorption of Selected Pesticides by Organic Matter and Montmorillonite. J. Agr. Food chem. 23 (3), 568-572.

COHEN, E., CASIDA, J. E., 1982: Properties and Inhibition of Insect Integumental chitin Synthetase. Pesticide Biochemistry and Physiology 17, 301-306.

DAALEN, VAN, J.J., MELTZER J., MULDER R., WELLINGA K., 1972: A Selective Insecticide with a Novel Mode of Action. Die Naturwissenschaften 7, 312-313.

DOPPELREITER, H., 1978: Untersuchungen über Artenspektrum, Verteilung und Biocidempfindlichkeit von Collembolen im Fichtenwaldboden. Diss. LMU München, gekürzt veröffentlicht: 1979 a : Teil I, Artenspektrum und Verteilung. Z. ang. Ent. 88, 113-124. 1979 b : Teil II, Biocidempfindlichkeit. Z. ang. Ent. 88, 453-470.

ELLIOT, M., JANES, N. F., POTTER, C., 1978: The future of Pyrethroids in Insect Control. Ann. Rev. Entom. 23, 443-469.

ELLIOT, R. H., ANDERSON, D. W., 1982: Factors influencing the activity of diflubenzuron against the codling moth, Laspeyresia pomonella (Lepidoptera:Olethreutidae). Can. Ent. 114 (3), 259-268.

FOGAL, W. H., 1977: Effect of a phenyl-benzoyl urea on Diprion similis (Hym., Diprionidae). Canad. Ent. 109 (7), 981-986.

FUCHS, R. A., SCHRÖDER, R., 1977: Natürlich vorkommende Insektizide und synthetische Analoga, 5-10, in Büchel, K. H., Pflanzenschutz und Schädlingsbekämpfung, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

GISIN, H., 1943: Ökologie und Lebensgemeinschaft der Collembolen im Schweizerischen Exkursionsgebiet Basel, Diss. Genf.

GISIN, H., 1960: Die Collembolenfauna Europas. 312 S. Museum d'Histoire Naturelle, Genève.

GROSSCURT, C. A., 1978: Diflubenzuron: Some Aspects of its Ovicidal and Larvicidal Mode of Action and an Evaluation of its Practical Possibilities. Pestic. Sci. 9, 373-389.

GOTO, H. E., 1960: Facultative Parthenogenesis in Collembola (Insecta). Nature 188, 4753-4754.

HAGLEY, E. A. C., PREE, D. J., SIMPSON, C. M., HIKICHI, A., 1981: Toxicity of insecticides to parasites of the spotted tentiform leafminer (Lepidoptera:Gracillariidae). Canad. Ent. 113 (10), 899-906.

HARRIS, C. R., TURNBULL, S. A., 1978: Laboratory studies on the contact toxicity and activity in soil of four pyrethroid insecticides. Canad. Ent. 110, 285-288.

HARRIS, C. R., CHAPMAN, R. A., HARRIS, C., 1981: Laboratory studies on the persistence and behaviour in soil of four pyrethroid insecticides. Canad. Ent. 113, 685-694.

HARTINGER, C., 1976: Zur Wirkung des Entwicklungshemmers Dimilin auf Gespinstmotten (Yponomeuta spp.) und ihre Parasiten. Anz. Schädlingskde, Pflanzenschutz, Umweltschutz 49. 156-158.

HEYDEMANN, B., 1958: Erfassungsmethoden für die Biozönosen der Kulturbiotope. In BALOGH, J.: Lebensgemeinschaften der Landtiere. Berlin und Budapest.

HOLST, H., 1975: Die fertilitätsbeeinflußende Wirkung des neuen Insektizids PDD 60-40 bei Epilachna varivestis Muls, (Col. Coccinellidae), Z. F. Pflanzenkr. u. Pfl.Schutz 82, 1-7.

ICI, PLANT-PROTECTION DIVISION, Produktinformation über Ambush der Firma ICI.

INJAC, M., 1981: Rezultati laboratorijskog ispitivanja ovicidnog delovanja diflubenzurona na jaja različite starosti lisnih minera jabuke Leucoptera scitella Zell. i Lithocolletis blancarella F. Žastita Bilja 32 (3), 241-249.

ISHAAYA, I., CASIDA, J. E. 1981: Pyrethroid esterase(s) may contribute to natural pyrethroid tolerance of larvae of the common green lacewing. Environmental Ent. 10 (5), 681-684.

ITO, T., HIROSE, C., 1981: Effects of permethrin, fenithrothion and lindane on oviposition of Lyctus brunneus stephens (Coleoptera:Lyctidae). Applied Ent. and Zoology 16 (2), 156-161.

JOOSSE, E. N. G., 1970: The formation and biological significance of aggregations in the distribution of Collembola Neth. J. Zool. 20 (3), 299-314.

KAUFMAN, D. D., HAYNES, S. C., 1977: Permethrin Degradation in Soil and Microbial Cultures. Synthetic Pyrethroides, ACS Symposium Series 42.

KREUTZWEISER, D. P., 1982: The effects of permethrin on the invertebrate fauna of a Quebec forest. Report, Canadian Forestry Service.

MILLER, R. G., 1981: Simultaneous Statistical Inference. McGraw, N. Y. 2.nd ed., 37 S., 166, 173-174, 218-219.

MITSUI, T., NOBUSAWA, C., FUKANU, J. I., 1981: Inhibition of chitin synthesis by diflubenzuron in Mamestra brassicae l. J. of Pesticide Scie. 6 (2), 155-161.

MOORE, R. A., 1966: Helicopter techniques for aerial application. Bell Helicopter Company, Texas.

MULDER, R., GIJSWIJT, M. I., 1973: The laboratory Evaluation of Two Promising New Insecticides Which Interfere with Cuticle Deposition. Pestic. Sci. 4, 737-745.

NARAHASHI, T., 1981: Insecticides as probes for the study of ionic channels in nerve membranes. Symposium on Neuropharmacology of insects. Pitman Press, London 1982, 291-298.

NAUMANN, K., 1981: Chemie der synthetischen Pyrethroid Insektizide in WEGLER, R., Chemie der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel, 7.

OHEIMB, VON, R., 1968: Technische Gesichtspunkte für den Einsatz von Flugzeugen in der Land- und Forstwitschaft. Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft e.V., Frankfurt a. M., Manuskriptdruck Nr. 15.

PERKOW, W., 1971/1982: Wirksubstanzen der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel, Lose-Blatt-Sammlung, Stand: 1982; Parey-Verlag, Berlin/ Hamburg.

PHILIPS-DUPHAR: Produktinformation über Dimilin der Firma Philip-Duphar, Düsseldorf.

POST, L. C., JOUG, DE, B. J., VINCENT, W. R., 1974: 1 - (2,6 - Disubstituted benzoyl) - 3 - Phenylurea Insecticides: Inhibitors of Chitin Synthesis. Pestic. Biochem. Physiol. 4, 473.

RADWAN, H. S. A., ABO-KORAH S. M., 1979: Population dynamics of soil inhibition mites in cucumber treated with granular insect growth regulators (IGRs). Experimenta 35, 1485-1487.

ROCK, G. C., 1979: Relative Toxicity of Two Synthetic Pyrethroids to a Predator Amblyseius fallacis and Its Prey Tetranychus urticae. J. Econ. Entomol. 72, 293 - 294.

ROSS, D. C., BROWN, T. M., 1982: Inhibition of larval growth in Spodoptera frugiperda by subletal dietary concentrations of insecticides. J. of Agr. and Food Chem. 30 (1), 193 - 196.

ROUSH, R. T., HOY, M. A., 1978: Relative Toxicity of Permethrin to a Predator, Metaseiulus occidentalis, and Its Prey, Tetranychus urticae. Environ. Entomol. 7, 287 - 288

SACHS, L., 1978: Angewandte Statistik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 5. Aufl., 422-426.

SALAMA, H. S., MOTAGALLY, Z. A., SKATULLA, U., 1976: On the mode of action of Dimilin as a moulting inhibitor in some lepidopterous insects. Z. ang. Ent. 80, 396-407.

SALEM, F. M., 1979: Zur Wirkung des Häutungshemmers Dimilin auf eine Population Wurzelnematoden bei Mais. Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 52, 107-108.

SAXENA, S. C., KUMAR, V., 1981: Blockage in Chitin Biosynthetic Chain in the Grasshopper Chrotogonus trachypterus Treated with Diflubenzuron & Penfluron. Indian J. Exp. Biol. Vol 19, 1199-1200.

SCHWENKE, W., 1979: Über die Rolle des Häutungshemmstoffes Dimilin im Waldschutz und Waldökosystem. Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 52, 97-102.

SCHWENKE, W., 1979: Waldschutz gegen Raupenplagen - gestern, heute und morgen. Forstwiss. Centralblatt 98 (2), 79-87.

SKATULLA, U., 1975: Über die Wirkung des Entwicklungshemmers Dimilin auf Forstinsekten. Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 48, 145-147.

SKATULLA, U., 1976: Dimilin, ein Insektizid mit völlig neuem Wirkungsmechanismus für den Forst. Fortpfl., Forstsamen 16, 10-12.

SNIDER, R., 1973: Laboratory observations on the biology of Folsomia candida (Willem) (Collembola:Isotomidae). Rev. Écol.Biol. Sol. 10 (1): 103-124.

SOUTHWOOD, T. R. E., 1966: Ecological Methods, Methuen & Co ltd. London, 291-292.

SPAHR, H. J., 1981: Experimentell-ökologische Untersuchungen über die Haltungsbedingungen von Collembolen in praxisorientierten Massenzuchten. Diplomarbeit, Berlin, 57 S.

TAN, K. H., 1981: Antifeeding effect of cypermethrin and permethrin at sublethal levels against Pieris brassicae larvae. Pestic. Sci. 12 (6), 619-626.

TAYLOR, L. R., 1961: Aggregation, variance and the mean. Nature (London) 189, 733-735.

THIBAUD, J. M., 1977: Intermue et températures léthales chez les Insectes Collemboles Arthropléones. Rev. Écol. Biol. Sol, 14 (2), 267-278.

TÖRNE,VON, E., 1967: Ergänzende Bemerkungen zur Anzucht von kleinen Bodentieren und zur Massenzucht von Collembolen. Pedobiologia 6, 288-292.

TRETZEL, E., 1955: Technik und Bedeutung des Fallenfangs für ökologische Untersuchungen. Zool. Anz. 155, 276 - 287.

TULLGREN, A., 1918: Ein sehr einfacher Ausleseapparat für terricole Tierformen. Z. angew. Ent. 4, 149-150.

TURNBULL, I. F., HOWELLS, A. J., 1982: Effects of several larvicidal compounds on chithin biosynthesis by isolated larval integuments of the sheep blowfly Lucilia cuprina, Australian Journal of Biological Sciences 35 (5), 491-503.

USHER, M. B., 1970: Seasonal and vertical distribution of a population of soil arthropods: Collembola. Pedobiologia, 10, 224 - 236.

WEBER, E., 1967: Grundriß der biol. Statistik, 6. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, S. 569.

WEBER, H., WEIDNER, H., 1974: Grundriß der Insektenkunde. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

WEISS, M., 1977: Zur Wirkung von Dimilin auf die Imagines und Eier des Erlenblattkäfers, Agelastica alni L. (Coleopt. Chrysomelidae). Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 50, 161-164.

WELLINGA, K., MULDER, R., DAALEN, VAN, J. J., 1973 a: Synthesis on Laboratory Evaluation of 1 - (2,6 - Disubstituted benzoyl)- 3 - phenylureas a New Class of Insecticides. I, 1 - (2,6 - Dichlorobenzoyl) - 3 - phenylureas. J. Agr. Food Chem., Vol 21, Nr. 3. 1973 b: Synthesis and Laboratory Evaluation of 1 - (2,6 - Disubstituted benzoyl) - 3 - phenylureas, a New Class of Insecticides. II. Influence of the Acyl Moiety on Insecticidal Activity. J. Agr. Food Chem., Vol. 21, Nr. 6.

WINTER, K., 1979: Untersuchungen über die Auswirkungen von Dimilin auf Insekten und Spinnen der Bodenoberfläche in Kiefernwäldern. Mitteilungen aus der BBA 191, 228-229.

Anhang 1

Bodenprobenauswertung

Stichprobenanzahl (n), Mittelwerte ($\bar{x}$), Standardabweichung (s), Minimum- (Min) und Maximumwerte (Max) von I. minor in den 0-Flächen (0) und in den mit Dimilin (D) und Ambush (A) behandelten Flächen zu den verschiedenen Probeterminen (0 = vor Behandlung, 1 - 5 = Termine nach Behandlung)

Beh.	Ter-min	Flächen I					Flächen II				
		n	$\bar{x}$	s	Min	Max	n	$\bar{x}$	s	Min	Max
0	0	20	4.25	4.74	0	22	20	5.00	5.93	0	21
	1	20	4.90	6.11	0	27	20	5.70	3.97	0	14
	2	20	9.65	6.37	0	23	20	10.10	6.22	3	30
	3	20	8.75	7.14	0	30	20	6.30	5.54	0	16
	4	20	11.40	9.64	0	32	20	18.50	8.64	5	36
	5	20	10.45	7.63	2	28	20	8.70	6.94	1	24
D	0	20	7.75	6.62	1	23	20	4.50	4.21	1	17
	1	20	3.65	2.91	0	9	20	2.50	2.09	0	7
	2	20	9.85	9.01	2	40	20	5.80	6.10	2	28
	3	20	7.40	5.88	1	20	20	3.80	2.04	0	9
	4	20	13.35	7.69	2	27	20	8.00	7.09	0	26
	5	20	18.85	16.00	4	76	20	6.45	3.89	0	13
A	0	20	4.05	4.38	0	17	20	5.15	3.54	1	15
	1	20	4.05	5.10	0	22	20	7.10	5.19	1	18
	2	20	10.10	8.88	3	36	20	15.55	13.02	1	63
	3	20	6.80	6.11	1	22	20	13.15	7.73	1	38
	4	20	10.60	7.80	1	32	20	19.85	9.96	9	45
	5	20	13.70	7.48	1	29	20	10.95	6.39	2	31

Anhang 2

Bodenprobenauswertung

Kontingenztafeln für I. minor, Flächen I (Anzahl Tiere pro Probe in Klasse I = 0 - 1, Klasse II = 2 - 4, Klasse III = 5 - 6, Klasse IV = 7 - 9, Klasse V = 10 - 15, Klasse VI ≥ 16)

Fl. / Kl.	0-Fl I	Dim I	Amb I
I	3	4	8
II	10	4	6
III	5	2	2
IV	1	3	1
V	0	4	2
VI	1	3	1
Sa.	20	20	20

vor Applikation

Fl. / Kl.	0-Fl. I	Dim I	Amb I
I	4	6	7
II	12	6	6
III	1	3	3
IV	0	5	2
V	2	0	1
VI	1	0	1
Sa.	20	20	20

1 Monat nach Applikation

Fl. / Kl.	0-Fl I	Dim I	Amb I
I	1	0	0
II	5	7	7
III	2	2	3
IV	1	4	3
V	8	4	3
VI	3	3	4
Sa.	20	20	20

3 Monate nach Applikation

Fl. / Kl.	0-Fl I	Dim I	Amb I
I	2	4	3
II	3	5	8
III	4	1	4
IV	5	3	1
V	3	4	1
VI	3	3	3
Sa.	20	20	20

7 Monate nach Applikation

Fl. / Kl.	0-Fl I	Dim I	Amb I
I	1	0	1
II	3	3	4
III	5	1	1
IV	3	3	4
V	3	6	8
VI	5	7	2
Sa.	20	20	20

14 Monate nach Applikation

Fl. / Kl.	0-Fl I	Dim I	Amb I
I	0	0	1
II	4	1	1
III	4	0	1
IV	4	4	2
V	3	7	8
VI	5	8	7
Sa.	20	20	20

22 Monate nach Applikation

Anhang 3

Bodenprobenauswertung

Kontingenztafeln für I. minor, Flächen II (Anzahl Tiere pro Probe in Klasse I = 0 - 1, Klasse II = 2 - 4, Klasse III = 5 - 6, Klasse IV = 7 - 9, Klasse V = 10 - 15, Klasse VI ≥ 16);
⟷ = signifikanter Unterschied (α = 0,05)

Fl. / Kl.	0-Fl II	Dim II	Amb II
I	9	4	3
II	3	9	6
III	1	1	5
IV	4	4	4
V	1	1	2
VI	2	1	0
Sa.	20	20	20

vor Applikation

Fl. / Kl.	0-Fl II	Dim II	Amb II
I	2	7	1
II	6	9	7
III	5	3	5
IV	3	1	1
V	4	0	3
VI	0	0	3
Sa.	20	20	20

1 Monat nach Applikation

Fl. / Kl.	0-Fl II	Dim II	Amb II
I	0	0	1
II	3	12	2
III	3	3	0
IV	4	3	2
V	7	1	7
VI	3	1	8
Sa.	20	20	20

3 Monate nach Applikation

FL. / Kl.	0-Fl II	Dim II	Amb II
I	7	2	1
II	2	11	1
III	2	6	0
IV	1	1	3
V	7	0 ⟷	10
VI	1	0	5
Sa.	20	20	20

7,5 Monate nach Applikation

Fl. / Kl.	0-Fl II	Dim II	Amb II
I	0	3	0
II	0	4	0
III	1	3	0
IV	3	6	1
V	2	0	7
VI	14	4	12
Sa.	20	20	20

14,5 Monate nach Applikation

Fl. / Kl.	0-Fl II	Dim II	Amb II
I	1	1	0
II	7	6	2
III	3	3	2
IV	0	6	5
V	5	4	8
VI	4	0	4
Sa.	20	20	20

22 Monate nach Applikation

Anhang 4

Bodenprobenauswertung

Doppelte Rangvarianzanalyse nach FRIEDMANN für I. minor.
Obere Zahl = Quotient aus Dichte nach und vor Behandlung;
untere Zahl = Rangzahl

a) Flächen I

Termine nach Applikation	1	2	3	4	5	Rangsummen
O-Fl. I	1,2 3	2,3 2	2,0 3	2,7 3	2,5 2	13
Dim. I	0,5 1	1,3 1	1,0 1	1,7 1	2,4 1	5
Amb. I	1,0 2	2,5 3	1,7 2	2,6 2	3,4 3	12

Friedmanntest: $Q = 7{,}6 > 5{,}99 = \chi^2_{2;0,05} = H_o$: Gleichheit der 3 Behandlungen wird abgelehnt.

Simultaner Stichprobenvergleich: $D = 6{,}19$ ($\updownarrow$ = signifikanter Unterschied zwischen 2 Behandlungen auf dem 5 %-Niveau)

b) Flächen II

Termine nach Applikation	1	2	3	4	5	Rangsummen
O-Fl. II	1,1 2	2,0 2	1,3 2	3,7 2	1,7 2	10
Dim. II	0,6 1	1,3 1	0,8 1	1,8 1	1,4 1	5
Amb. II	1,4 3	3,0 3	2,6 3	3,9 3	2,1 3	15

Friedmanntest: $Q = 10 > 5{,}99 = \chi^2_{2;0,05} = H_o$: Gleichheit der 3 Behandlungen wird abgelehnt.

Simultaner Stichprobenvergleich: $D = 6{,}19$

Anhang 5

Bodenprobenauswertung

Stichprobenanzahl (n), Mittelwerte ($\bar{x}$), Standardabweichung (s), Minimum- (Min) und Maximumwerte (Max) von H. gibba in den O-Flächen (O) und in den mit Dimilin (D) und Ambush (A) behandelten Flächen zu den verschiedenen Probeterminen (0 = vor Behandlung, 1 - 5 = Termine nach Behandlung)

Beh.	Termin	Flächen I					Flächen II				
		n	$\bar{x}$	s	Min	Max	n	$\bar{x}$	s	Min	Max
O	0	20	8.60	5.28	0	20	20	3.15	3.10	0	14
	1	20	11.25	3.49	6	21	20	5.30	4.00	0	15
	2	20	11.15	4.07	4	18	20	6.70	4.97	0	17
	3	20	21.50	7.87	3	35	20	15.15	8.22	6	40
	4	20	21.85	10.69	4	47	20	7.25	5.15	1	19
	5	20	21.25	9.03	7	37	20	6.40	4.98	0	23
D	0	20	5.75	3.74	0	16	20	3.60	1.90	1	7
	1	20	5.00	2.83	1	10	20	3.75	3.45	0	15
	2	20	6.75	2.94	2	13	20	9.65	4.96	3	23
	3	20	9.60	6.02	2	24	20	14.35	7.16	3	32
	4	20	9.35	6.32	1	24	20	8.00	5.81	2	23
	5	20	11.25	8.40	2	36	20	9.10	5.10	2	20
A	0	20	7.40	5.50	1	23	20	5.65	3.48	1	13
	1	20	8.45	3.69	2	14	20	7.25	4.89	1	19
	2	20	11.40	7.89	1	27	20	12.25	5.72	4	29
	3	20	24.35	17.18	6	82	20	29.90	28.61	6	139
	4	20	19.30	10.19	6	39	20	15.05	5.90	6	26
	5	20	18.55	17.18	0	73	20	16.25	8.22	5	36

Bodenprobenauswertung

Kontingenztafeln für H. gibba, Flächen I (Anzahl Tiere pro Probe in Klasse I = 0 - 4, Klasse II = 5 - 7, Klasse III = 8 - 9, Klasse IV = 10 - 13, Klasse V = 14 - 20, Klasse VI ≥ 21); ⟷ = signifikanter Unterschied (α = 0,05)

Fl. / Kl.	O-Fl I	Dim I	Amb I
I	7	8	5
II	1	7	7
III	2	3	4
IV	8	1	2
V	2	1	1
VI	0	0	1
Sa.	20	20	20

vor Applikation

Fl. / Kl.	O-Fl I	Dim I	Amb I
I	0 ⟷	10	4
II	3	5	3
III	3	4	5
IV	11	1	7
V	2	0	1
VI	1	0	0
Sa.	20	20	20

1 Monat nach Applikation

Fl. / Kl.	O-Fl I	Dim I	Amb I
I	1	5	4
II	3	9	3
III	3	3	3
IV	7	3	3
V	6	0	3
VI	0	0	4
Sa.	20	20	20

3 Monate nach Applikation

Fl. / Kl.	O-Fl I	Dim I	Amb I
I	1	4	0
II	0	6	2
III	1	1	0
IV	0	3	1
V	7	5	7
VI	11	1	10
Sa.	20	20	20

7 Monate nach Applikation

Fl. / Kl.	O-Fl I	Dim I	Amb I
I	1	6	0
II	2	5	3
III	0	1	1
IV	1	3	3
V	4	4	4
VI	12 ⟷	1	9
Sa.	20	20	20

14 Monate nach Applikation

Fl. / Kl.	O-Fl I	Dim I	Amb I
I	0	3	1
II	1	4	4
III	3	4	0
IV	1	5	5
V	3	2	5
VI	12	2	5
Sa.	20	20	20

22 Monate nach Applikation

Bodenprobenauswertung

Kontingenztafeln für H. gibba, Flächen II (Anzahl Tiere pro Probe in Klasse I = 0 - 2, Klasse II = 3 - 5, Klasse III = 6 - 7, Klasse IV = 8 - 10, Klasse V = 11 - 15, Klasse VI ≥ 16)

Fl. / Kl.	O-Fl II	Dim II	Amb II
I	9	6	5
II	9	9	5
III	1	5	4
IV	0	0	4
V	1	0	2
VI	0	0	0
Sa.	20	20	20

vor Applikation

Fl. / Kl.	O-Fl II	Dim II	Amb II
I	6	8	3
II	6	9	4
III	2	1	6
IV	4	1	3
V	2	1	2
VI	0	0	2
Sa.	20	20	20

1 Monat nach Applikation

Fl. / Kl.	O-Fl II	Dim II	Amb II
I	5	0	0
II	6	3	1
III	2	5	2
IV	2	5	5
V	3	4	8
VI	2	3	4
Sa.	20	20	20

3 Monate nach Applikation

Fl. / Kl.	O-Fl II	Dim II	Amb II
I	0	0	0
II	0	1	0
III	1	2	1
IV	4	3	1
V	9	8	4
VI	6	6	14
Sa.	20	20	20

7,5 Monate nach Applikation

Fl. / Kl.	O-Fl II	Dim II	Amb II
I	3	3	0
II	6	6	0
III	5	2	4
IV	0	2	0
V	4	5	7
VI	2	2	9
Sa.	20	20	20

14,5 Monate nach Applikation

Fl. / Kl.	O-Fl II	Dim II	Amb II
I	2	1	0
II	9	4	1
III	2	4	2
IV	5	3	2
V	1	5	6
VI	1	3	9
Sa.	20	20	20

22 Monate nach Applikation

Anhang 8

Bodenprobenauswertung

Doppelte Rangvarianzanalyse nach FRIEDMANN für H. gibba.
Obere Zahl = Quotient aus Dichte nach und vor Behandlung;
untere Zahl = Rangzahl

a) Flächen I

Termine nach Applikation	1	2	3	4	5	Rangsummen
O-Fl. I	1,3 3	1,3 2	2,5 2	2,5 2	2,5 2,5	11,5
Dim. I	0,9 1	1,2 1	1,7 1	1,6 1	2,0 1	5
Amb. I	1,1 2	1,5 3	3,3 3	2,6 3	2,5 2,5	13,5

Friedmanntest: $Q = 7{,}9 > 5{,}99 = \chi^2_{2;0,05} = H_o$: Gleichheit der 3 Behandlungen wird abgelehnt.

Simultaner Stichprobenvergleich: D = 6,19 (= signifikanter Unterschied zwischen 2 Behandlungen auf dem 5 %-Niveau)

b) Flächen II

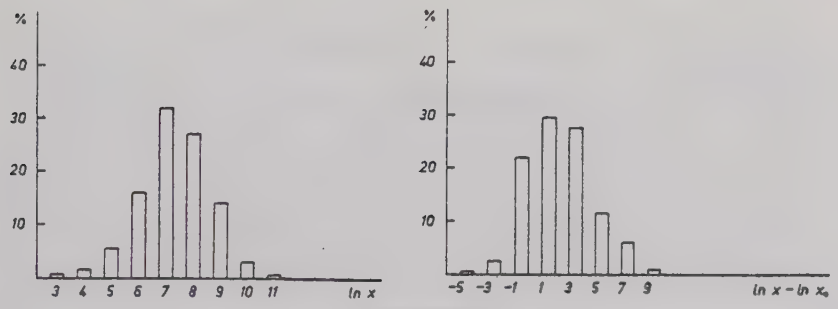
Termine nach Applikation	1	2	3	4	5	Rangsummen
O-Fl. II	1,7 3	2,1 1	4,8 2	2,3 2	2,0 1	9
Dim. II	1,0 1	2,7 3	4,0 1	2,2 1	2,5 2	8
Amb. II	1,3 2	2,2 2	5,3 3	2,7 3	2,9 3	13

Friedmanntest: $Q = 2{,}8 < 5{,}99 = \chi^2_{2;0,05} = H_o$: Gleichheit der 3 Behandlungen wird aufrechterhalten.

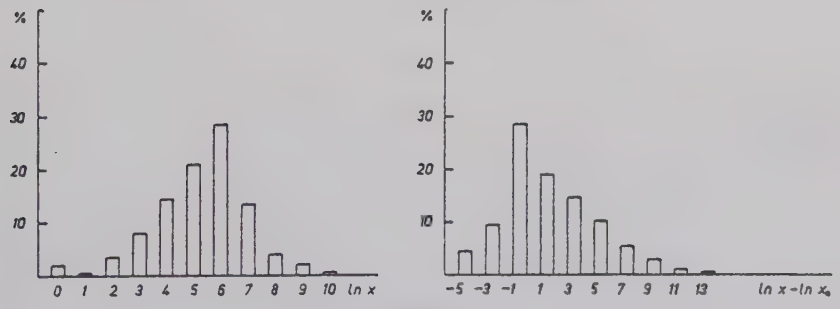
Anhang 9

Bodenfallenauswertung

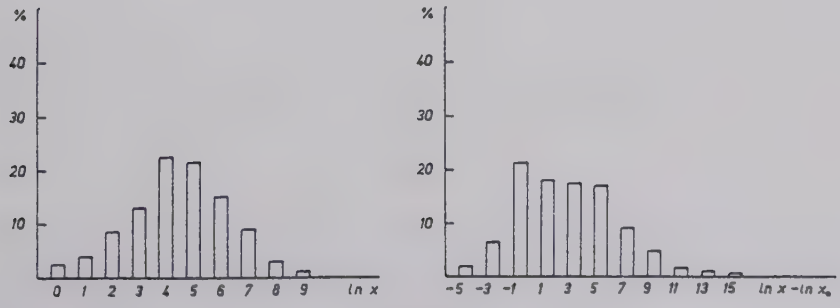
Häufigkeitsverteilungen der Fangzahlen x pro Falle. Abb. links: ln-transformierte Daten (n = 540); Abb. rechts: Differenzen der ln-transformierten Daten nach (x) und vor (x_o) Behandlung (n = 450).



Entomobriidae



T. flavescens



O. flavescens

Anhang 10

Bodenfallenauswertung

Korrelationsanalyse der Fallenfänge vor und zu den einzelnen Terminen nach Applikation für die unbehandelten Fallenstandorte (n = 30). r = Korrelationskoeffizient, p = Signifikanzniveau

Termine nach Applikation	Entomobriidae		T. flavescens		O. flavescens	
	r	P	r	P	r	P
1	0,619	0,000	0,798	0,000	0,301	0,106
2	0,206	0,274	0,448	0,013	0,177	0,349
3	0,271	0,147	- 0,051	0,790	0,202	0,284
4	- 0,018	0,925	0,145	0,443	0,065	0,732
5	0,205	0,277	0,069	0,718	0,266	0,156

Anhang 11

Bodenfallenauswertung

Stichprobenanzahl (n), Mittelwerte ($\bar{x}$), Standardabweichungen (s), Minimum- (Min) und Maximumwerte (Max) von Entomobriidae in der unbehandelten (O) und den mit Dimilin (D) und Ambush (A) behandelten Varianten zu den verschiedenen Probeterminen (O = vor Behandlung; 1 - 5 = Termine nach Behandlung).
x = nicht transformierte Daten; lnx = ln-transformierte Daten

Bch.	Termin	n	x				ln x			
			$\bar{x}$	s	Min	Max	$\bar{x}$	s	Min	Max
O	0	30	33.43	14.63	6	68	3.39	0.54	1.79	4.22
	1	30	82.47	36.31	36	164	4.32	0.44	3.58	5.10
	2	30	65.33	24.41	12	125	4.09	0.47	2.48	4.83
	3	30	89.53	51.80	22	246	4.34	0.56	3.09	5.51
	4	30	48.97	24.00	17	121	3.79	0.44	2.83	4.80
	5	30	68.50	40.42	11	189	4.06	0.62	2.40	5.24
D	0	30	25.50	12.16	6	56	3.12	0.52	1.79	4.03
	1	30	43.53	16.57	13	81	3.70	0.41	2.56	4.39
	2	30	37.17	16.09	5	63	3.49	0.56	1.61	4.14
	3	30	60.77	28.23	16	140	4.00	0.47	2.77	4.94
	4	30	34.80	14.35	12	64	3.46	0.46	2.48	4.16
	5	30	66.97	28.68	26	143	4.12	0.42	3.26	4.96
A	0	30	37.13	17.02	16	78	3.52	0.42	2.77	4.36
	1	30	82.83	49.33	30	244	4.29	0.50	3.40	5.50
	2	30	69.37	24.52	38	120	4.18	0.34	3.64	4.79
	3	30	105.43	50.17	25	257	4.54	0.50	3.22	5.55
	4	30	59.57	30.73	22	143	3.97	0.49	3.09	4.96
	5	30	82.53	47.75	30	216	4.27	0.55	3.40	5.38

Bodenfallenauswertung

Stichprobenanzahl (n), Mittelwerte ($\bar{x}$), Standardabweichungen (s), Minimum- (Min) und Maximumwerte (Max) von Tomocerus flavescens in der unbehandelten (O) und den mit Dimilin (D) und Ambush (A) behandelten Varianten zu den verschiedenen Probeterminen (O = vor Behandlung; 1 - 5 = Termine nach Behandlung). x = nicht transformierte Daten; lnx = ln-transformierte Daten

Beh.	Termin	n	x				ln x			
			$\bar{x}$	s	Min	Max	$\bar{x}$	s	Min	Max
O	0	30	15.70	10.28	1	36	2.43	0.96	0.00	3.58
	1	30	34.37	26.73	7	107	3.28	0.74	1.95	4.67
	2	30	22.20	11.47	1	51	2.93	0.72	0.00	3.93
	3	30	34.67	25.31	3	101	3.25	0.86	1.10	4.62
	4	30	22.70	16.48	5	86	2.93	0.61	1.61	4.45
	5	30	21.07	14.64	2	77	2.82	0.73	0.69	4.34
D	0	30	15.90	10.25	3	51	2.57	0.66	1.10	3.93
	1	30	27.13	15.44	3	65	3.12	0.68	1.10	4.17
	2	30	16.80	11.04	1	50	2.60	0.75	0.00	3.91
	3	30	15.67	14.08	1	66	2.31	1.06	0.00	4.19
	4	30	11.80	8.87	1	37	2.07	1.05	0.00	3.61
	5	30	18.60	9.79	3	39	2.75	1.65	1.10	3.66
A	0	30	21.23	14.93	4	57	2.81	0.74	1.39	4.04
	1	30	46.17	44.36	8	209	3.54	0.75	2.08	5.34
	2	30	29.27	18.04	9	74	3.21	0.59	2.20	4.30
	3	30	53.10	38.84	5	162	3.67	0.87	1.61	5.09
	4	30	31.33	22.72	5	97	3.20	0.73	1.61	4.57
	5	30	32.90	20.65	6	94	3.29	0.68	1.79	4.54

Bodenfallenauswertung

Stichprobenanzahl (n), Mittelwerte ($\bar{x}$), Standardabweichungen (s), Minimum- (Min) und Maximumwerte (Max) von Orchesella flavescens in der unbehandelten (O) und den mit Dimilin (D) und Ambush (A) behandelten Varianten zu den verschiedenen Probeterminen (O = vor Behandlung; 1 - 5 = Termine nach Behandlung). x = nicht transformierte Daten; lnx = ln-transformierte Daten

Beh.	Termin	n	x				ln x			
			$\bar{x}$	s	Min	Max	$\bar{x}$	s	Min	Max
O	0	30	8.57	4.49	1	19	1.97	0.67	0.00	2.94
	1	30	14.93	11.19	1	60	2.46	0.77	0.00	4.09
	2	30	14.83	9.10	1	44	2.44	0.85	0.00	3.78
	3	30	26.90	23.92	1	108	2.83	1.12	0.00	4.68
	4	30	10.87	6.99	3	32	2.20	0.63	1.10	3.47
	5	30	30.43	26.35	5	110	3.09	0.84	1.61	4.70
D	0	30	5.07	4.30	1	18	1.32	0.79	0.00	2.89
	1	30	6.83	5.33	1	24	1.65	0.78	0.00	3.18
	2	30	8.43	7.48	1	28	1.72	0.96	0.00	3.33
	3	30	19.57	12.57	5	56	2.79	0.61	1.61	4.03
	4	30	13.97	11.82	3	52	2.41	0.64	1.10	3.95
	5	30	35.03	23.77	8	97	3.33	0.69	2.08	4.57
A	0	30	10.27	5.02	3	22	2.21	0.52	1.10	3.09
	1	30	17.83	11.36	3	54	2.69	0.66	1.10	3.99
	2	30	20.63	13.04	2	48	2.79	0.76	0.69	3.87
	3	30	29.27	19.84	1	81	3.02	1.04	0.00	4.39
	4	30	14.73	9.02	4	49	2.54	0.54	1.39	3.89
	5	30	35.70	27.53	7	140	3.35	0.68	1.95	4.94

Bodenfallenauswertung

Zweifache Varianzanalyse und Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse mit ln-transformierten Daten für Entomobriidae

Tafel der Varianzanalyse

Variabilitätsursache	SQ	FG	MQ	F	P
Behandlungen	22,288	2	11,144	46,508	0,001
Termine	52,964	5	10,593	44,207	0,001
Wechselwirkung (Beh. x Termin)	5,328	10	0,533	2,244	0,015
Rest	125,079	522	0,246		
Insgesamt	205,659	539	0,382		

SQ = Summe der Abweichungsquadrate; FG = Freiheitsgrad; MQ = Mittleres Quadrat

Simultane Stichprobenvergleiche

- in Anova: $|\bar{x} - \bar{x}'| > 0{,}440 \Rightarrow$ Signifikanter Unterschied ($\alpha = 0{,}05$) (bezeichnet mit $\longrightarrow$)
- in Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse:

$|\bar{R} - \bar{R}'| > 140{,}44 = D_T \Rightarrow$ Signifikanter Unterschied ($\alpha = 0{,}05$) (bezeichnet mit $\dashrightarrow$)

Behandlung \ Termin		0	1	2	3	4	5
O	$\bar{x}$	3,39 ←	4,32	4,09	4,34 →	3,79	4,06
	$\bar{R}$	136,98 ⇠	375,77	326,78	372,18 ⇢	225,28	306,28
D	$\bar{x}$	3,12 ←	3,70	3,49 ←	4,00 →	3,46 ←	4,12
	$\bar{R}$	82,15	203,00	165,27	290,62 ⇢	144,43 ⇠	324,45
A	$\bar{x}$	3,52 ←	4,29	4,18	4,54 →	3,97	4,27
	$\bar{R}$	152,77 ⇠	360,98	344,17	425,95 ⇢	279,72	352,22

$\bar{x}$ = Mittelwert, $\bar{R}$ = mittlere Rangzahl; je Zelle n = 30

Bodenfallenauswertung

Zweifache Varianzanalyse und Kruskal-Wallis-Rangvarianz-analyse mit ln-transformierten Daten für T. flavescens

Tafel der Varianzanalyse

Variabilitätsursache	SQ	FG	MQ	F	P
Behandlungen	46,155	2	23,078	38,042	0,001
Termine	27,824	5	5,565	9,173	0,001
Wechselwirkung (Beh. x Termine)	19,447	10	1,945	3,206	0,001
Rest	316,661	522	0,607		
Insgesamt	410,088	539	0,761		

SQ = Summe der Abweichungsquadrate; FG = Freiheitsgrad; MQ = Mittleres Quadrat

Simultane Stichprobenvergleiche

- in Anova: $|\bar{x} - \bar{x}'| > 0{,}701 \Rightarrow$ Signifikanter Unterschied ($\alpha = 0{,}05$) (bezeichnet mit $\longrightarrow$)
- in Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse:

$|\bar{R} - \bar{R}'| > 140{,}44 = D_T \Rightarrow$ Signifikanter Unterschied ($\alpha = 0{,}05$) (bezeichnet mit $\dashrightarrow$)

Behandlung \ Termin		0	1	2	3	4	5
O	$\bar{x}$	2,43 ←	3,28	2,93	3,25	2,93	2,82
	$\bar{R}$	192,38	330,72	271,05	330,80	256,15	245,45
D	$\bar{x}$	2,57	3,12	2,60	2,31	2,07	2,75
	$\bar{R}$	187,57	310,05	198,50	180,27	140,15	230,68
A	$\bar{x}$	2,81 ←	3,54	3,21	3,67	3,20	3,29
	$\bar{R}$	242,10	381,97	317,35	396,47	319,18	338,17

$\bar{x}$ = Mittelwert, $\bar{R}$ = mittlere Rangzahl; je Zelle n = 30

Anhang 16

Bodenfallenauswertung

Zweifache Varianzanalyse und Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse mit ln-transformierten Daten für O. flavescens

Tafel der Varianzanalyse

Variabilitätsursache	SQ	FG	MQ	F	P
Behandlungen	28,452	2	14,226	24,008	0,001
Termine	113,515	5	22,703	38,314	0,001
Wechselwirkung (Beh. x Termine)	23,845	10	2,384	4,024	0,001
Rest	309,311	522	0,593		
Insgesamt	475,123	539	0,881		

SQ = Summe der Abweichungsquadrate; FG = Freiheitsgrad; MQ = Mittleres Quadrat

Simultane Stichprobenvergleiche

- in Anova: $|\bar{x} - \bar{x}'| > 0{,}693 = D \Rightarrow$ Signifikanter Unterschied ($\alpha = 0{,}05$) (bezeichnet mit $\longrightarrow$)
- in Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse:

$|\bar{R} - \bar{R}'| > 140{,}44 = D_T \Rightarrow$ Signifikanter Unterschied ($\alpha = 0{,}05$) (bezeichnet mit $\dashrightarrow$)

Behandlung \ Termin		0	1	2	3	4	5
O	$\bar{x}$	1,97	2,46	2,44	2,83	2,20 ←	3,09
	$\bar{R}$	171,22	264,23	273,23	333,40	208,70 ⇠	366,90
D	$\bar{x}$	1,32	1,65	1,72 ←	2,79	2,41 ←	3,33
	$\bar{R}$	91,97	129,13	156,73 ⇠	321,63	240,05 ⇠	413,18
A	$\bar{x}$	2,21	2,69	2,79	3,02	2,54 ←	3,35
	$\bar{R}$	206,08	304,92	326,75	372,73	272,63 ⇠	415,50

$\bar{x}$ = Mittelwert, $\bar{R}$ = mittlere Rangzahl; je Zelle n = 30

Lebenslauf

Name	Ursula Köhler, geborene Speckbacher
geboren am	26. November 1953 in München
wohnhaft	Ahornstraße 36, 8043 Unterföhring
1960 - 1964	Volksschule Planegg
1964 - 1973	Neusprachliches Elsa-Brandström-Gymnasium München-Pasing
1973 - 1974	Tätigkeit bei Firma SF-Bau, Köln
1974 - 1978	Ludwig-Maximilians-Universität München, Studium der Forstwissenschaft, Diplom
seit 1979	mit vorliegender Dissertation befaßt
seit 1980	Vollbeschäftigte wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl für angewandte Zoologie der Universität München

ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfaßt und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt und noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt habe. Alle Stellen, die anderen Werken entnommen sind, wurden als Entlehnungen kenntlich gemacht.

München, im November 1983